



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**MOŽNOSTI SYSTÉMU SINUMERIK 840D PŘI
SOUSTRUŽENÍ HŘÍDELE PRO JAWA 23**

SINUMERIK 840D CONTROL SYSTEM FOR TURNING OF THE SHAFT FOR JAWA 23

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Motl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Martin Motl**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Polzer, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Možnosti systému Sinumerik 840D při soustružení hřídele pro JAWA 23

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce je zaměřena na plánování a programování výroby hřídele s ozubením, drážkováním a závitem pro motocykl JAWA 23. Programování obrábění je v softwaru SinuTrain 4.7 (Sinumerik 840D) na zvoleném soustružnicko-frézovacím centru. Práce bude obsahovat stručný popis materiálu obrobku, volbu moderního strojního i nástrojového vybavení, bude vypracován technologický postup výroby součásti i další nezbytná technická dokumentace.

Cíle diplomové práce:

- Stručná charakteristika obráběné součásti.
- Rešerše odborné literatury se zaměřením na materiál ozubených kol a hřídelí s ozubením.
- Návrh a zpracování technické dokumentace obráběné součásti.
- Vytvoření NC programu hřídelové součásti.

Seznam doporučené literatury:

Traditional machining processes. 1. New York: Springer, 2014. ISBN 978-366-2450-871.

DE VOS, Patrick. SECO TOOLS AB. Metal Cutting Theories in Practice. 1. Sweden: Elanders, 2014.

DAVIM, J. Paulo (ed.). Modern machining technology: a practical guide. 1st pub. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. Woodhead Publishing in mechanical engineering. ISBN 978-0-857-9-099-7.

MATTOX, Donald M. Handbook of physical vapor deposition (PVD) processing. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2010, 746 s. ISBN 978-0-81-552037-5.

SHAW, Milton Clayton. Metal cutting principles. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2005, xix, 651 s. ISBN 01-951-4206-3.

QUESADA, Robert. Computer numerical control: machining and turning centers. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005, 548 s. ISBN 01-304-8867-4.

AB SANDVIK COROMANT. Technická příručka obrábění: soustružení - frézování - vrtání - vyvrtávání - upínání nástrojů. 2005.10. Švédsko: Elanders, 2005.

MCMAHON, Chris. CAD/CAM principles, practice and manufacturing management. 2nd ed. Harlow: Prentice Hall, 1998, 665 s. ISBN 02-011-7819-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem technologie výroby hřídele s ozubením na CNC obráběcím stroji. První část práce je zaměřena na stručný popis zvolené hřídele a její použití. V další části práce jsou uvedeny vybrané materiály vhodné pro použití na hřídele a ozubená kola. Následně je sestaven výkres součásti, navržen technologický postup, seznam nástrojů a strojů vhodných na výrobu zvolené hřídele. V závěrečné části práce je vytvořen CNC program pro obrobení hřídele na soustružnicko-frézovacím stroji. Program je sestaven pomocí software SinuTrain 4.7 pro řídicí systém Sinumerik 840D. Pro zjištění správné funkce je CNC program ověřen pomocí grafické simulace.

Klíčová slova

CNC obrábění, Sinumerik, SinuTrain, technologický postup, hřídel, ozubení

ABSTRACT

This Master's thesis deals with the proposal manufacturing technology of a shaft with gears on a CNC machine tool. The first part of the thesis is focused on the concise description selected shaft and its use. In the next part of the thesis are state selected materials, which are suitable used for shafts and gears. After that is create drawing component, suggest technological procedure, tool list and machine list which are suitable used for manufacturing selected shaft. In the final part of the thesis is create a CNC program for manufacturing the shaft on the turning and milling machine. Program is created in software SinuTrain 4.7 for control system Sinumerik 840D. The CNC program is verified by graphics simulation to determine a correct function.

Key words

CNC machining, Sinumerik, SinuTrain, technological procedure, shaft, gears

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MOTL, Martin. *Možnosti systému Sinumerik 840D při soustružení hřídele pro JAWA 23*. Brno 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 73 s. 5 příloh. Vedoucí práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Možnosti systému Sinumerik 840D při soustružení hřídele pro JAWA 23** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Bc. Martin Motl

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu práce panu Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D., panu Ing. Karlu Osičkovi, Ph.D. a paní Ing. Petře Sliwkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytli při vypracování diplomové práce. Mé poděkování též patří mé rodině a všem mým blízkým za velkou podporu.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ	4
PODĚKOVÁNÍ.....	5
OBSAH.....	6
ÚVOD	8
1 STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA OBRÁBĚNÉ SOUČÁSTI.....	9
1.1 Popis vyráběné součásti.....	9
1.2 Technologičnost konstrukce součásti	10
1.2.1 Ozubení.....	10
1.2.2 Drážkování	14
1.2.3 Závít.....	15
1.2.4 Broušené plochy	15
1.3 Použití součásti	16
1.4 Materiál součásti.....	18
2 MATERIÁLY PRO OZUBENÁ KOLA A HŘÍDELE S OZUBENÍM	21
2.1 Oceli používané pro ozubená kola a hřídele s ozubením	22
2.2 Litiny používané na ozubená kola a hřídele s ozubením.....	36
2.3 Neželezné kovy používané na ozubená kola	37
2.4 Plastické hmoty používané na ozubená kola	38
3 NÁVRH A ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE.....	39
3.1 Výkres součásti.....	39
3.2 Technologický postup výroby	40
3.2.1 Volba polotovaru	40
3.2.2 Souhrn technologických operací	41
3.3 Použité nástroje	43
3.3.1 Soustružnické nože	43
3.3.2 Vrtáky	46
3.3.3 Frézy	47
3.3.4 Brousicí kotouč.....	48
3.4 Použité stroje	49
3.4.1 Pásová pila PROMA PPS-170TH	49
3.4.2 CNC Soustružnické centrum Kovosvit MAS SP 280 SY	50
3.4.3 Stroj na ozubení GLEASON 100PS	52
3.4.4 Laser pro kalení LASCAM HighLight D-Series	52
3.4.5 Bruska na drážkové hřídele Junker JUMAT 5710	53

3.4.6 Hrotová bruska Okamoto OGM-250UDXB	53
4 VYTVOŘENÍ NC PROGRAMU OBRÁBĚNÉ SOUČÁSTI	55
4.1 Přehled několika základních použitých funkcí a příkazů	55
4.2 Sestavení NC programu.....	56
4.2.1 Zadáání parametrů nástrojů	56
4.2.2 Vytvoření polotovaru.....	56
4.2.3 Obrobení kontury.....	57
4.2.4 Obrobení závitu	58
4.2.5 Navrtání středicího důlku	59
4.2.6 Frézování drážkování	59
4.2.7 Soustružení zápichu	60
4.2.8 Soustružení mazací drážky	61
4.2.9 Vrtání díry	62
4.3 Simulace obrábění	62
ZÁVĚR.....	67
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	68
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	71
SEZNAM PŘÍLOH	73

ÚVOD

Podnětem této diplomové práce bylo seznámení se s možnostmi CNC řídicího systému Sinumerik 840D a jeho využitím při obrábění zvolené součásti typu hřídele. Programování obrábění je realizováno pomocí softwaru SinuTrain 4.7 mimo obráběcí stroj na počítači. SinuTrain 4.7 je software umožňující vytvářet řídicí programy pro obráběcí stroje řízené počítači s možností virtuální simulace obrábění vytvořeného řídicího programu.

Práce je především soustředěna na vytvoření řídicího programu pro soustružnicko-frézovací centrum, které je vhodné pro obrobení zvolené součásti. Dále je zaměřena na, s tím související, technologickou přípravu výroby.

Úvodní část práce bude zaměřena na představení součásti obráběné pomocí počítačem řízeného soustružnicko-frézovacího obráběcího stroje. Tou je zvolená hřídel patřící do převodové skříně, která je součástí celého bloku motoru motocyklu značky JAWA. Hřídel je tvořena několika základními hlavními prvky, kterými je ozubení, rovnoboké drážkování s vnitřním středěním, přesné válcové broušené průměry, závit apod. Popsány budou i jednotlivé materiály, které je možné použít pro výrobu podobných součástí stejného typu, jako jsou například nejčastěji používané oceli, nebo neželezné kovy, plasty či litiny. Z každé skupiny materiálu budou vybrány nejčastěji používané zástupci dané skupiny a pro ty budou uvedeny jejich vlastnosti a použití. Technologická příprava výroby bude obsahovat technologický postup výroby s rozepsanými jednotlivými operacemi, seznam použitých nástrojů s charakteristickými údaji pro daný nástroj a seznam strojů s jejich základním popisem a potřebnými údaji. Vypracována bude i kompletní výkresová dokumentace obsahující výrobní výkres zvolené hřídele. Vypracován bude i CNC program pro řízení obrábění na soustružnicko-frézovacím obráběcím stroji s následným ověřením funkčnosti pomocí grafické simulace.

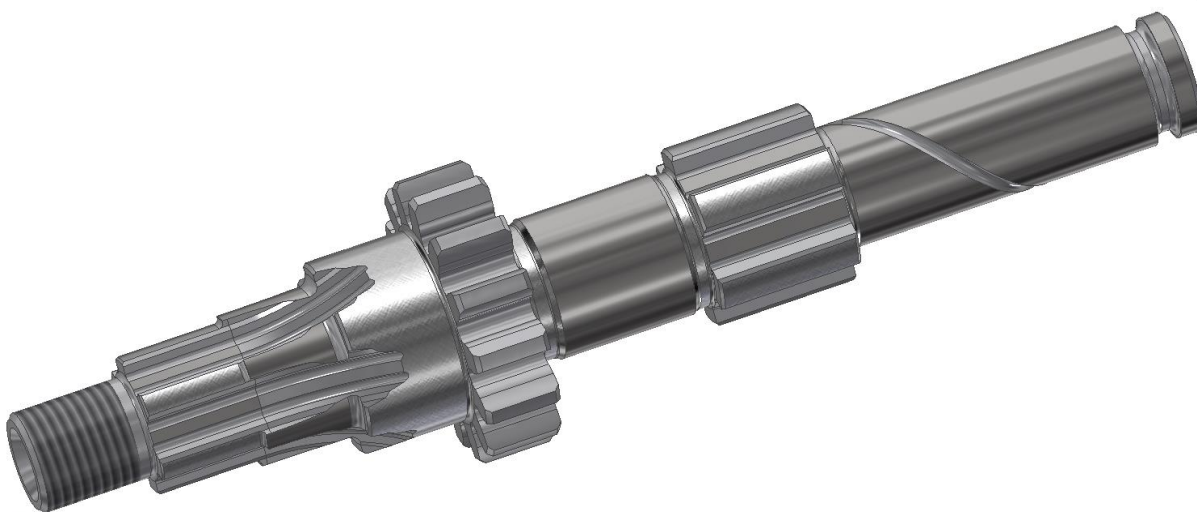


Obr. Hřídel vyjmutá z motoru JAWA.

1 STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA OBRÁBĚNÉ SOUČÁSTI

1.1 Popis vyráběné součásti

Součástí, na kterou je zaměřena tato práce, je hřídel (obr. 1.1) jejíž součástí je ozubené kolo (pastorek) a několik dalších prvků. Hřídel je 118 mm dlouhá a má největší průměr v místě přímého ozubení s počtem čtrnácti zubů o průměru hlavové kružnice 28 mm. Hřídel se skládá z již zmíněného přímého evolventního ozubení se 14 zuby, dvojího rovnobokého drážkování s vnitřním středěním, tří broušených válcových ploch, na válcové ploše o průměru 10 mm vyříznutým závitem, vyfrézovanou mazací drážkou a také z několika vysoustružených zápichů, tvořících přechodové plochy jednotlivých průměrů a jednoho jako součást mazací drážky. Skrze celou hřídel je vyvrtán průchozí otvor.



Obr. 1.1 Zobrazení 3D modelu hřídele.

Celková hmotnost součásti byla zjištěna pomocí 3D modelu vytvořeného v programu Autodesk Inventor Professional 2017 a činí 0,128 kg viz obr. 1.2, kde je také udán objem i velikost povrchu hřídelové součásti.

Hřidel iVlastnosti	
<div>Obecné Souhrn Projekt Stav Uživatelské Uložit Fyzikální</div>	
Tělesa Součást Aktualizovat	
Materiál Ocel, legovaná Schránka	
Hustota	Požadovaná přesnost
7,730 g/cm ³	Vysoké
Obecné vlastnosti	
Hmotnost	0,128 kg (Relativní ch)
Povrch	9140,775 mm ² (Reli)
Objem	16528,580 mm ³ (Re)
Těžiště	
X	61,724 mm (Relativní)
Y	-0,001 mm (Relativní)
Z	0,000 mm (Relativní c)

Obr. 1.2 Tabulka fyzikálních vlastností.

1.2 Technologičnost konstrukce součásti

Technologičnost konstrukce je zhodnocení a rozbor obrobitelnosti použitého materiálu, tvarové náročnosti, přesnosti rozměrů a jakosti povrchu dané součásti. Ve výsledku toto posouzení vede k tomu, aby se zjistilo, zda je součást vůbec vyrobitelná a jaké metody a postupy výroby by byly výhodné pro výrobu využít. Dále posouzení technologičnosti vede k určení potřebného polotovaru pro výrobu, zvolení vhodných strojů a nástrojů.

1.2.1 Ozubení

Čelní kola s přímými evolventními zuby mají boční křivky zubů rovnoběžné s osou rotace kola, tento druh čelního ozubení je výrobně nejjednodušší a nejčastěji používaný druh ozubených kol pro nižší obvodové rychlosti. Boky zubů jsou tvořeny evolventou, evolventa je křivka, kterou tvoří bod na přímce odvalující se po kružnici, v případě ozubení se jedná o základní kružnici. Výhodou tohoto typu ozubení je, že při přenosu otáčivého momentu nevzniká axiální zatížení na ozubená kola ve vzájemném záběru, které například vzniká u čelních ozubených kol se šikmými zuby. Nevýhodou přímého ozubení mohou být rázy vznikající při dostávání se jednotlivých zubů do záběru a s tím související i hlučnější chod ozubeného převodu.

Dle zařazení do tabulky pro volbu přesnosti ozubených kol (obr. 1.3) se u řešeného ozubení jedná o ozubení s přesností IT8 používané například pro osobní i nákladní automobily, obráběcí stroje a průmyslové převodovky s maximální obvodovou rychlostí 8 m.s^{-1} . Jako potvrzení zařazení, je zde následující výpočet obvodové rychlosti. [1].

Výpočet obvodové rychlosti:

Hodnoty použité pro výpočet byly zjištěny z dílenské příručky pro motocykly JAWA 50 [2]:

$n_1 = 6\,500 \text{ min}^{-1}$	otáčky motoru při maximálním výkonu,
$z_1 = 14$	počet zubů ozubeného kola na klikové hřídeli,
$z_2 = 34$	počet zubů ozubeného kola spojkové lamely,
$D = 28 \text{ mm}$	průměr hlavové kružnice ozubení na řešené hřídeli.

Otáčky řešené hřídele:

$$n_2 = \frac{z_1 \cdot n_1}{z_2} \quad (1.1)$$

$$n_2 = \frac{14 \cdot 6\,500}{34} = 2\,676,47 \text{ min}^{-1}$$

Obvodová rychlost ozubení řešené hřídele:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n_2}{60 \cdot 1000} \quad (1.2)$$

$$v = \frac{\pi \cdot 28 \cdot 2\,676,47}{60 \cdot 1000} = 3,92 \text{ m.s}^{-1}$$

Podle výpočtu má hřídel s ozubením největší obvodovou rychlost $3,92 \text{ m.s}^{-1}$.

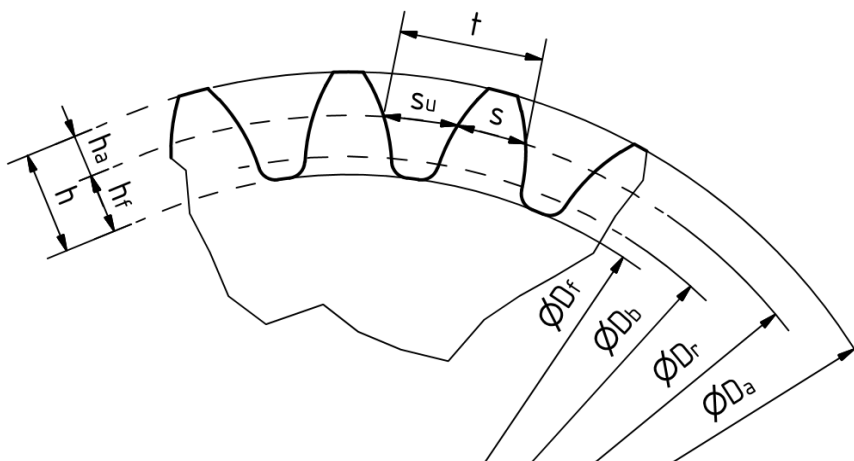
Ozubení tohoto zařazení s přesností IT8 a maximální drsností povrchu $Ra\ 1,6\ \mu m$ je vhodné dokončovat ševingováním, frézováním odvalovacím způsobem, nebo broušením na odvalovacích bruskách. Z moderních způsobů výroby ozubení lze využít metodu Power skiving, kterou lze charakterizovat jako kombinaci odvalovacího frézování a obrážení, vyžadující speciální CNC obráběcí stroje, nebo metodu InvoMilling, využívající souvisle řízených víceosých CNC obráběcích strojů s využitím standardních fréz [1].

Stupeň přesnosti podle ČSN 01 4682		4	5	6	7	8	9	10	11
Max. drsnost povrchu R_a (μm)*		0,1 až 0,2	0,2 až 0,4	0,4 až 0,8	0,8 až 1,6	1,6	1,6 až 3,2	3,2 až 6,3	6,3 až 12,5
Max. obvodová rychlost (m . s ⁻¹)	zuby přímé	libovolná	60	35	15	8	5	3	3
	zuby šikmé	libovolná	80	50	30	12	8	5	3
Způsob výroby	kola netvrzená	frézovaná na speciálních odvalovacích frézách				ševingovaná		obrážená	obrážená, frézovaná dělicím způsobem
	kola tvrzená	broušená na nej přesnějších bruskách		broušená na odvalovacích bruskách		lapovaná			
Použití	kontrolní kola pro stupeň přesnosti 6 až 8		8 až 10		rychloběžné převodovky		průmyslové převodovky		pohony rotačních pecí
	měřicí přístroje					lehké lodní motory	válcovací stolice, těžké lodní motory, lokomotivy a traktory		
	reduktory turbín			osobní automobily			zdvihadla a stavební stroje		
					obráběcí stroje			zemědělské stroje	
			letecké motory		nákladní automobily		textilní stroje		

*) Nižší hodnoty pro menší moduly, vyšší hodnoty pro větší moduly.

Obr. 1.3 Orientační tabulka přesnosti ozubených kol [1].

Základní parametry ozubení:



Obr. 1.4 Základní parametry ozubeného kola [3].

Jedním ze základních parametrů ozubení je modul (m) udávaný v milimetrech, jeho hodnoty jsou normalizovány například dle ČSN 01 4608 s účinností od 1.1. 1980. Dalším základním parametrem ozubení je základní kružnice (D_b) a úhel záběru (α), úhel záběru je také normalizovaný a nejčastěji se používá hodnota 20° . Tloušťka zubu (s), která je měřena na průměru roztečné kružnice, je u nekorigovaného ozubení stejná jako šířka zubní mezeru (s_u), dohromady tyto dvě hodnoty dávají zubovou rozteč (t) [3].

Výpočet parametrů ozubení**Rozteč zubů [3]:**

$$t = \pi \cdot m \quad (1.3)$$

Kde: m - modul ozubení [mm].

$$t = \pi \cdot 1,75 = \mathbf{5,49 \text{ mm}}$$

Tloušťka zubu, Šířka zubní mezery [3]:

$$s_u = s = \frac{t}{2} \quad (1.4)$$

Kde: t - rozteč zubů [mm].

$$s_u = s = \frac{5,49}{2} = \mathbf{2,745 \text{ mm}}$$

Roztečná kružnice [3]:

$$D_r = z \cdot m \quad (1.5)$$

Kde: z - počet zubů [-],
 m - modul ozubení [mm].

$$D_r = 14 \cdot 1,75 = \mathbf{24,50 \text{ mm}}$$

Základní kružnice [3]:

$$D_b = D_r \cdot \cos \alpha \quad (1.6)$$

Kde: D_r - roztečná kružnice [mm],
 α - úhel záběru [°].

$$D_b = 24,5 \cdot \cos 20 = \mathbf{23,02 \text{ mm}}$$

Výška hlavy zubu [3]:

$$h_a = 1 \cdot m \quad (1.7)$$

Kde: m - modul ozubení [mm].

$$h_a = 1 \cdot 1,75 = \mathbf{1,75 \text{ mm}}$$

Výška paty zubu [3]:

$$h_f = (1 + c_a) \cdot m \quad (1.8)$$

Kde: m - modul ozubení [mm],
 c_a - hlavová vůle (0,17 až 0,30) m [mm].

$$h_f = (1 + 0,25) \cdot 1,75 = \mathbf{2,19 \text{ mm}}$$

Hlavová kružnice [3]:

$$D_a = D_r + 2 \cdot h_a \quad (1.9)$$

Kde: D_r - průměr roztečné kružnice [mm],

h_a - výška hlavy zubu [mm].

$$D_a = 24,5 + 2 \cdot 1,75 = \mathbf{28 \text{ mm}}$$

Patní kružnice [3]:

$$D_f = D_r - 2 \cdot h_f \quad (1.10)$$

Kde: D_r - průměr roztečné kružnice [mm],

h_f - výška paty zubu [mm].

$$D_f = 24,5 - 2 \cdot 2,19 = \mathbf{20,12 \text{ mm}}$$

Výška zubu [3]:

$$h = h_a + h_f \quad (1.11)$$

Kde: h_a - výška hlavy zubu [mm],

h_f - výška paty zubu [mm].

$$h = 1,75 + 2,19 = \mathbf{3,94 \text{ mm}}$$

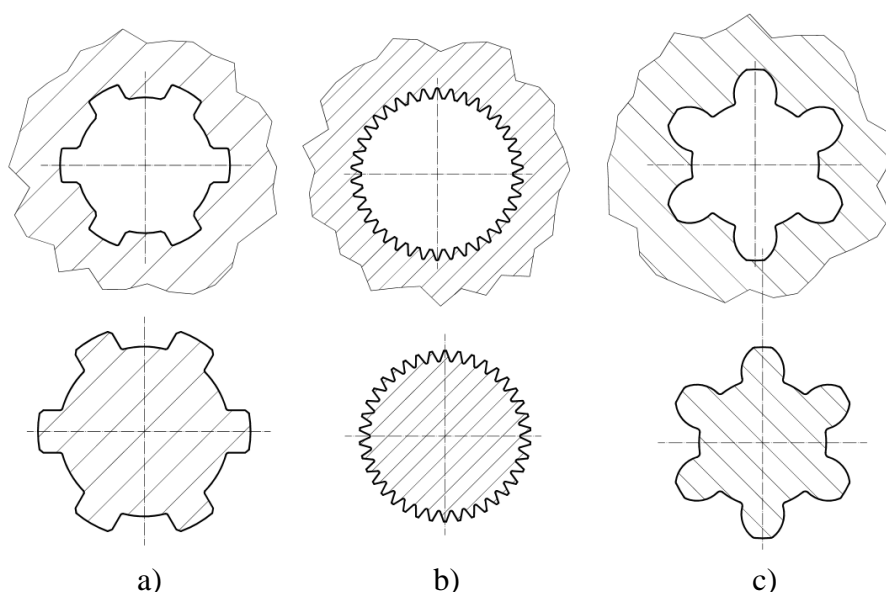
Vypočítané hodnoty daného ozubení jsou shrnuty v následující tab. 1.1.

Tab. 1.1 Vypočtené parametry ozubeného kola.

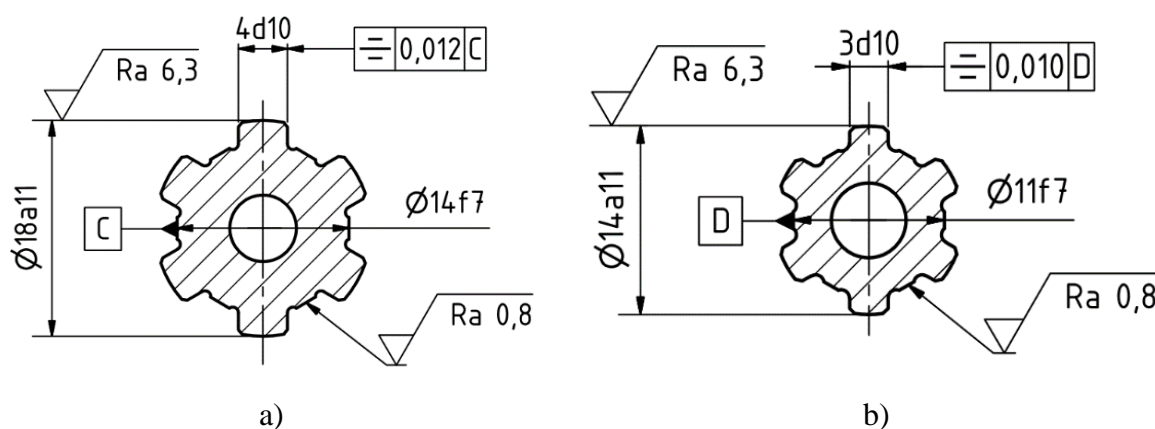
Parametry ozubení	Značení	Hodnota
Počet zubů	z	14 mm
Modul ozubení	m	1,75 mm
Úhel záběru	α	20°
Rozteč zubů	t	5,49 mm
Tloušťka zubu	s	2,745 mm
Šířka zubní mezery	s_u	2,745 mm
Roztečná kružnice	D_r	24,5 mm
Základní kružnice	D_b	23,02 mm
Hlavová kružnice	D_a	28 mm
Patní kružnice	D_f	20,12 mm
Výška paty zubu	h_f	2,19 mm
Výška hlavy zubu	h_a	1,75 mm
Výška zubu	h	3,94 mm

1.2.2 Drážkování

Drážkování pro spojení náboje s hřídelí se používá především v případech, kdy je nevhodné použít například spojení perem či více pery současně. Spojení drážkováním je schopno přenášet větší silové a rázové zatížení než zmíněné spojení pery. Drážkové spojení lze rozdělit do tří hlavních skupin: jemné drážkování, rovnoboké drážkování a evolventní drážkování (obr. 1.5). Všeobecně používané a nejvíce rozšířené je drážkování rovnoboké, používá se pro uložení nehybné, nebo i posuvné, například v převodových skříních pro přesouvání ozubených kol po hřídelích při řazení jednotlivých převodových stupňů. Tento tvar drážkování neumožňuje přenášet velké krouticí momenty nebo rázové zatížení. Rovnoboké drážkování je vyráběno ve třech tvarech: provedení A využívá vnitřního středění na dna drážek na hřídeli, která jsou broušená, broušením docílíme relativně snadno přesného rozměru vnitřních ploch náboje i ploch mezi zuby na hřídeli. Provedení B i C využívá středění na boky drážek, rozdílem mezi provedením B a C je způsob přechodu mezi dnem drážky a bokem zubu. U provedení B je přechodem sražená hrana a u provedení C je přechodovou plochou rádius [4; 5].



Obr. 1.5 Průřezy jednotlivých profilů drážkování, a) rovnoboké drážkování, b) jemné drážkování, c) evolventní drážkování.



Obr. 1.6 Drážkování na hřídeli, a) na průměru 18 mm, b) na průměru 14 mm.

Použité drážkování na řešené hřídeli (obr. 1.6) je v obou případech rovnoboké s vnitřním středěním v provedení A. Uprostřed hřídele, na průměru 18 mm, je zhotoveno drážkování $6x14f7x18a11x4d10$ a na průměru 14 mm je zhotoveno drážkování $6x11f7x14a11x3d10$. Oboje

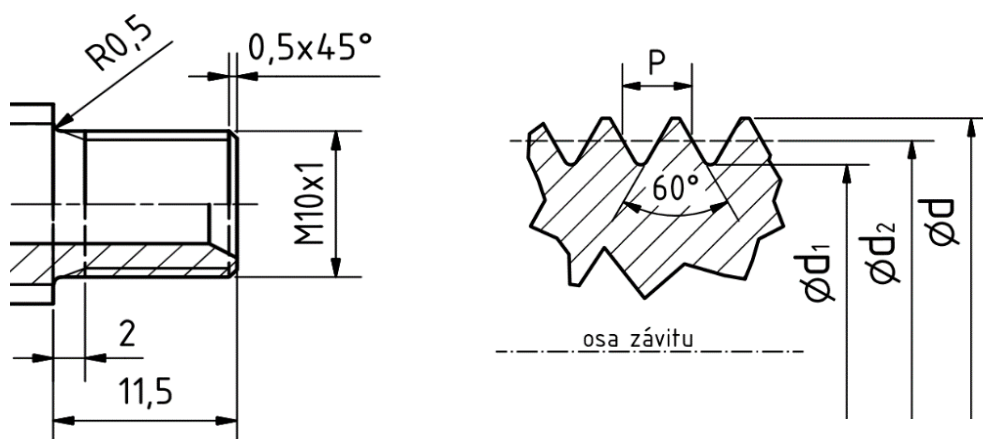
drážkování vychází z normy ČSN 01 4942, přičemž některé průměrové rozměry drážkování byly upraveny vyrábějící firmou JAWA na menší, zřejmě podle prostorových možností uvnitř převodové skříně motoru.

1.2.3 Závít

Závít je prvek strojní součásti, který lze definovat jako nakloněnou rovinu navinutou na válcovou, případně kuželovou plochu, s daným stoupáním. Závity se dělí na několik druhů, které jsou normalizovány. Podle směru stoupání na levé a pravé, podle počtu závitových ploch na jednochodé a několikachodé a podle profilu na metrické, lichoběžníkové, oblé a další [6].

Dále se závity dělí na vnější a vnitřní, jedná-li se o šroub nebo matici, na válcové nebo kuželové dle tvaru plochy na které jsou zhotoveny a podle funkce je lze dělit na závity spojovací nebo pohybové [6].

Závít použitý na hřídeli je metrický s jemným stoupáním 1 mm o jmenovitém průměru 10 mm. Označení tohoto závitu je: M10x1. Závít je na hřídeli vyříznut pomocí soustružnického nože na řezání závitů.



Obr. 1.8 Zobrazení kótování závitu M10x1.

Tab. 1.2 Hodnoty metrického závitu M10x1 pro šroub [1].

Značka	Název	Hodnota
$\varnothing d$	Velký (jmenovitý) průměr	10,000 mm
$\varnothing d_1$	Malý průměr	8,773 mm
$\varnothing d_2$	Střední průměr	9,350 mm
P	Rozteč (stoupání)	mm

1.2.4 Broušené plochy

Broušení je odebrání malého množství materiálu. Nástrojem pro broušení je brousící kotouč, který se skládá z brusných zrn z velmi tvrdého materiálu a z pojiva. Brusná zrna jsou nejčastěji z tvrdého materiálu, jako je například umělý korund (Al_2O_3 – oxid hlinitý), karbid křemíku (SiC), umělý diamant, kubický nitrid bóru (KNB) a karbid bóru (B_4C). Pojivo je látka, kterou se spojují brusná zrna ve výsledný tvar brousícího nástroje. Nejčastěji používané pojivo brusných kotoučů je keramika, dále se používají pojiva magnezitová, silikátová, gumová,

kovová a mnoho dalších vhodných materiálů. Broušení je nejčastěji používáno jako dokončovací operace při výrobě strojních součástí, ale také další důležité uplatnění má při ostření břitů nástrojů. Hlavní výhodou broušení je přesnost dokončených ploch a jejich výsledná povrchová struktura. Při broušení válcových vnitřních i vnějších, nebo rovinných ploch se dosahuje stupně přesnosti až IT3 a struktury povrchu až $Ra\ 0,025\ \mu m$ [1; 7].

Přesnost broušených ploch na řešené hřídeli je v jednom případě stupeň přesnosti IT6 a v dalších čtyřech případech IT7. Broušené jsou 3 válcové plochy určené pro uložení kuličkového ložiska, pro kluzné uložení ozubeného kola a pro uložení hřídele do kluzného ložiska. Broušený průměr 15k6 určený pro uložení kuličkového ložiska je broušen v toleranci ležící v kladných hodnotách od jmenovitého rozměru ($+1\ \mu m$ až $+12\ \mu m$). Broušený průměr 12f7, určen pro kluzné ložisko, je broušen v toleranci ležící v záporných hodnotách ($-16\ \mu m$ až $-34\ \mu m$) vzhledem k jmenovitému rozměru. A rovněž průměr 14f7, určený pro kluzné uložení ozubeného kola, je broušen v záporných hodnotách tolerančního pole ($-16\ \mu m$ až $-34\ \mu m$) vzhledem k jeho jmenovitému rozměru. Na hřídeli jsou také broušeny části válcových ploch nacházejících se uvnitř rovnobokého drážkování, jedná se o průměry 14f7 a 11f7 jejichž toleranční pole leží vzhledem k jejich jmenovitému rozměru v záporných hodnotách ($-16\ \mu m$ až $-34\ \mu m$) u obou rozměrů stejných. Kvalita povrchů je u rozměrů 14f7, 15k6 a 11f7 požadována maximálně $Ra\ 0,8\ \mu m$ a u průměru 12f7 je to $Ra\ 0,4\ \mu m$ [5].

1.3 Použití součástí

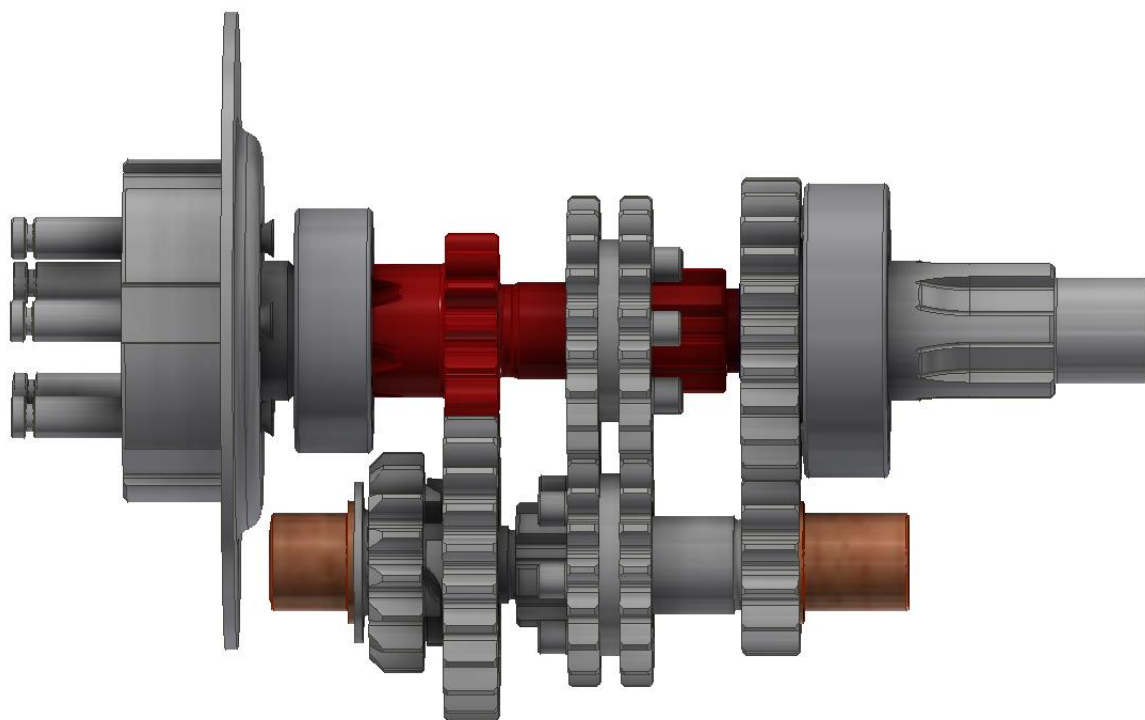
Řešenou součástí je hlavní hřídel patřící do převodové skříně motoru malého motocyklu (obr. 1.9) tovární značky JAWA. Jedná se o motocykl československé výroby, který byl vyráběn na území dnešní Slovenské republiky v Považské Bystrici v národním podniku Považské strojírny. Výroba probíhala s několika postupnými inovacemi od roku 1968, kdy vznikaly první prototypy, až do roku 1983, kdy byla výroba ukončena [8].



Obr. 1.9 Motocykl JAWA 50 typ 23 Mustang.

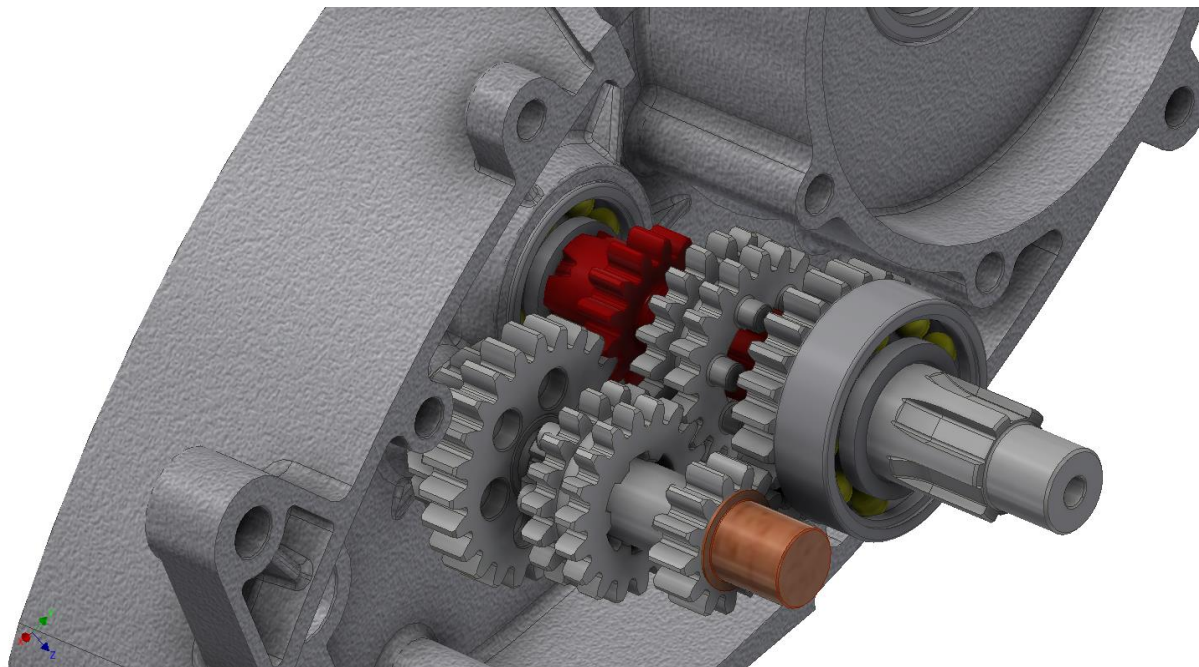
Do motocyklu o celkové hmotnosti 65 kg, uváděné bez paliva, byl montován jednoválcový dvoudobý motor o objemu 50 cm³ s výkonem 2,6 kW při 6 500 min⁻¹. Za maximální konstrukční rychlost bylo udáváno 60 km.h⁻¹ se spotřebou 2,3 l na 100 km jízdy s jednou osobou, při jízdě se spolujezdcem (dvě osoby) byla uváděna maximální rychlost 50 km.h⁻¹ se spotřebou 3,2 l na 100 km jízdy [9; 8].

Hlavní hřídel převodové skříně, na obr. 1.10. a 1.11. je zvýrazněna červenou barvou, je uložena otočně v kuličkovém a kluzném ložisku, kuličkové ložisko je uloženo na průměru 15k6. Kuličkovým ložiskem je ložisko s označením 6202/C3 s průměrem otvoru vnitřního kroužku 15 mm, velkého průměru vnějšího kroužku 35 mm a o celkové šířce 11 mm. Kluzné uložení je realizováno pomocí průměru 12f7, na kterém se z důvodu zajištění dostatečného mazání nachází drážka se zápichem pro přívod maziva mezi styčné plochy hřídele a bronzového pouzdra. Na rovnobokém drážkování s vnitřním středěním 6 x 11f7 x 14a11 x 3d10 je nasazen a maticí s jemným závitem M10x1, přitažen spojkový koš druhou stranou opírající se o vnitřní kroužek kuličkového ložiska 6202/C3. Tímto uložením a upevněním je udána hřídeli její přesná poloha v převodovce. Spoluzáběrovým ozubeným kolem pro ozubení na hřídeli je ozubené kolo s počtem 23 zubů. Na broušeném průměru 14f7 je kluzně uloženo ozubené kolo s počtem 20 zubů, spoluzabírajícím kolem pro toto ozubené kolo je kolo s počtem 18 zubů, které je rovněž uloženo kluzně na předlohové hřídeli. Obě tyto ozubená kola jsou pomocí řadicí vidličky přesouvána při řazení jednotlivých převodových stupňů mezi válcovou plochou o průměru 14f7 a rovnobokým drážkováním s vnitřním středěním 6 x 14f7 x 18a11 x 4d10 v celkem pěti polohách, tři z nich jsou rychlostní stupně a dvě jsou polohy při zařazení neutrálního stupně, který se nachází nejen mezi prvním a druhým rychlostním stupněm, ale také mezi druhým a třetím rychlostním stupněm. Skrz hřídel jsou ve zhotoveném otvoru vsunuty dvě ocelové tyčky o průměru 5 mm, mezi které je vložena ocelová kulička, která tam je z důvodu oddělení otáčející se tyčky, blíže ke spojkovému koši, od stojící tyčky přiléhající k seřizovacímu šroubu ovládání spojky v pravém víku bloku motoru. Těmito tyčkami je ovládáno rozpínání spojky.



Obr. 1.10 Zobrazení uspořádání ozubených kol v převodové skříně.

Na obr. 1.11. je zobrazen levý blok motoru, do kterého je uložena hlavní hřídel v kuličkovém ložisku a předloková hřídel v kluzném ložisku. Druhé kuličkové i kluzné ložisko je uloženo, ve zde nezobrazeném, pravém bloku motoru. Přesouvání dvojice ozubených kol, uložených na dvojici hřídelí, je realizováno pomocí tzv. vidličky, která je vsunuta do drážky po obvodu ozubených kol.



Obr. 1.11 Zobrazení 3D modelu převodové skříně.

1.4 Materiál součásti

Vhodných materiálů pro tuto součást je hned několik. Z méně jakostních ocelí by mohla být použita například ocel 12 050, u této oceli ale nastává problém s deformací při zušlechťování, které zahrnuje kalení s následným popouštěním. Toto tepelné zpracování následuje až po obrobení celé součásti a tímto způsobené deformace součásti je nutné odstranit zařazením broušení všech funkčních ploch na součásti. Vhodným a rovněž vybraným materiálem je ocel 13 240, má dostatečnou pevnost a lze ji povrchově kalit při čemž nevznikají deformace, nebo vznikají pouze v zanedbatelném rozsahu, a tudíž není nutné zařazovat broušení po tepelném zpracování. Další vhodnou ocelí by mohla být ocel 14 220, nebo 16 220, u obou těchto ocelí by po obrobení následovalo cementování s povrchovým kalením. Cementování je nákladné a zdoluhavé, je vhodné spíše pro velmi namáhané součásti. I u tohoto chemicko-tepelného zpracování jsou nevýhodou deformace, z tohoto důvodu je taktéž nutné zařadit jako dokončovací operaci broušení, které výrobní proces prodlouží a rovněž i prodraží [10].

Z výše popsaných důvodů je použitým materiálem pro výrobu této hřídele s ozubením a drážkováním ocel s označením dle ČSN 13 240, je to nízkolegovaná mangan-křemíková konstrukční ocel třídy 13 se středním obsahem uhlíku. Je použitelná k zušlechťování a povrchovému kalení. Optimální průměr neboli tloušťka součásti pro zušlechtění je 50 mm. Ocel je ve zušlechtěném stavu dobře obrobitelná a dobře tvařitelná. Nevýhodou je náchylnost na popouštěcí křehkost a obtížná svařitelnost. Má vhodné použití pro strojní součásti středně namáhané, u nichž je potřebná odolnost proti opotřebení. Příkladem použití mohou být součásti silničních motorových vozidel a jiných zařízení. Příkladem použití mohou být hřídele, šrouby, ozubená kola, třmeny, páky, nápravy, čepy kol, ojnice apod. [11; 12].

Tab. 1.3 Možnosti označení oceli 13 240 [13].

Značení dle:	Značka
Oceli ke tváření dle ČSN	13 240
Číselné označení dle EN	1.5122
Značkou dle DIN	37MnSi5

Pokud ocel 13 240 zušlechťujeme na pevnost větší než 1100 MPa, je výhodnější tuto ocel pro získání větší houževnatosti kalit izotermicky. Při zušlechtění na pevnost 900 MPa až 1000 MPa, nebo na pevnost 1300 MPa až 1400 MPa, lze touto ocelí nahradit oceli chrom-vanadové třídy 15, které jsou nákladnější na výrobu než ocel 13 240 [12].

Pro součást je ocel dodávána v tyčích válcovaných za tepla ve stavu zušlechtěném na dolní pevnost (13 240.6). V tomto stavu má daná ocel mez kluzu minimálně 635 MPa a mez pevnosti má v rozmezí od 880 MPa do 1030 MPa [14].

Tab. 1.4 Tabulka technologických údajů pro ocel 13 240 [14].

Technologické údaje		
Normalizační žihání	850-890 °C	ochlazovat na vzduchu
Žihání na měkko	640-720 °C	ochlazovat v peci
Kalení	820-850 °C	ochlazovat ve vodě
	840-890 °C	ochlazovat v oleji
Popouštění	530-680 °C	ochlazovat ve vodě, tvarově složité součásti v oleji
	530-670 °C	ochlazovat na vzduchu
Tvrдость povrchově kalené vrstvy	55±2 HRC	pro D ≤ 40 mm
	53±2 HRC	pro D (41 až 100) mm
Teploty tváření za tepla (třída 1)	1150-800 °C	pomalou ochlazovat
Obrobitelnost (stav .6 – zušlechtěno na dolní pevnost obvyklou u příslušné oceli) (tvrдость ≤ 253 HB)	10b	soustružení
	10b	frézování
	10b	vrtání

Tab. 1.5 Chemické složení oceli 13 240 [14].

Chemické složení v hmotnostních %				
C	Mn	Si	P	S
0,33 až 0,41	1,10 až 1,40	1,10 až 1,40	Max. 0,035	Max. 0,035

Legováním ocelí dosahujeme vyšší meze kluzu, lepších plastických vlastností, vyšší prokalitelnosti, zaručenou mez únavy materiálu a mez tečení, nízkou přechodovou teplotu, odolnost proti korozi a dalších zvýhodňujících vlastností oproti ocelím nelegovaným. Tohoto dosáhneme přidáním určitého množství daných legujících prvků, jako jsou nejčastěji používané prvky: mangan, křemík, nikl, chrom, vanad, molybden, případně méně často používaný bor a wolfram. Oceli určené k zušlechtování a povrchovému kalení mají obvykle obsah uhlíku v rozmezí od 0,3 % až 0,5 % a celkový obsah legujících prvků nepřesahuje 7 %. Legované oceli mají v zušlechtěném stavu lepší poměr meze kluzu ku pevnosti při maximální houževnatosti,

proto se většinou v nezušlechtěném stavu nepoužívají a jsou místo nich používány oceli nelegované [12].

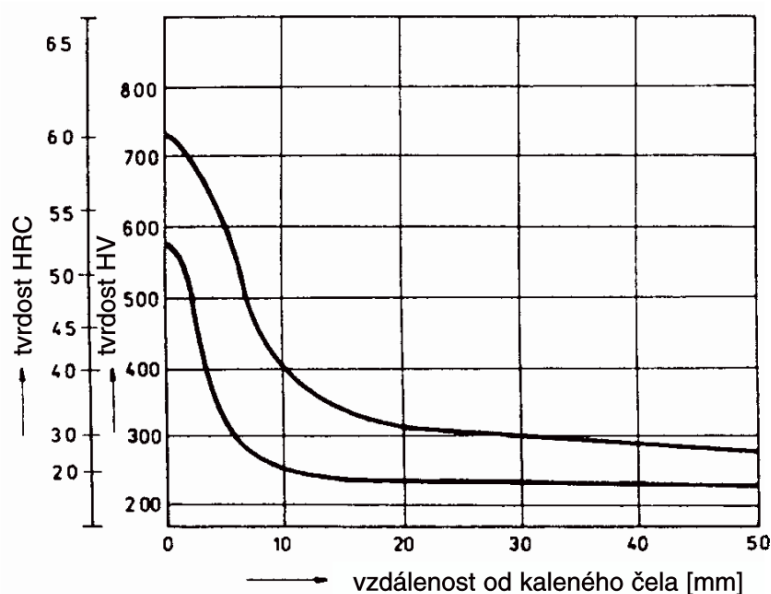
Jako hlavní legující prvky jsou v této oceli (13 240) mangan a křemík, nežádoucími prvky s omezeným množstvím je fosfor a síra.

Mangan se často používá v kombinaci i s jinými legujícími prvky pro legování konstrukčních ocelí z důvodu jeho cenové dostupnosti. Řadí se mezi austenitotvorné prvky, rozpuštěný ve feritu snižuje jeho tažnost, do obsahu 2 % povolna, větší snižování tažnosti probíhá při obsahu nad 2 %. Souvisejícím se snižováním tažnosti je zvyšování pevnostních vlastností získáním perlitické struktury s nižším obsahem uhlíku a zjemněním lamel perlitu. V ocelích je většinou do obsahu 1,65 %, působí jako dezoxidační přísada a jako prostředek k vázání síry a snižování jejího nepříznivého vlivu. Tepelné zpracování je zvyšováním obsahu manganu velmi ovlivňováno, zvyšuje se prokalitelnost, ocel je náchylná na hrubnutí zrna a může se objevit vysokoteplotní popouštěcí křehkost snižující vrubovou houževnatost [12; 15].

Křemík je také často používán k legování ocelí pro zušlechtování v kombinaci s jinými legujícími prvky, jako je například mangan či chrom. Řadí se mezi prvky silně feritotvorné, v němž se zcela rozpouští a nevytváří karbidy, tudíž dochází ke zvyšování pevnosti feritu. Křemík je až do obsahu 0,5 % považován v oceli za dezoxidační přísadu, jako legující prvek je považován při obsahu nad 0,5 %. Při vyšším obsahu snižuje výrazně plastické vlastnosti, proto ho nebývá v ocelích konstrukčních pro tváření více než 1,80 %. Křemík také zhoršuje obrobitelnost tvořením oxidu křemičitého při dezoxidaci [12; 15].

Fosfor zvyšuje mez kluzu a pevnost oceli, snižuje plastické vlastnosti, což vede ke zhoršení tvařitelnosti, také zhoršuje vrubovou houževnatost materiálu a způsobuje popouštěcí křehkost. Zlepšuje obrobitelnost zlepšením lámavosti třísky při obrábění, ale zvyšuje opotřebení nástroje otěrem. Obvykle v ocelích bývá obsah fosforu do 0,03 % [12; 15].

Síra snižuje plastické vlastnosti oceli, při tváření za tepla oslabuje soudržnost zrn a vede ke křehkosti. Síra ale má pozitivní vliv na obrobitelnost oceli zvýšením lámavosti třísky. Obvykle je v ocelích její obsah nižší než 0,02 %, u lepších ocelí i méně, naopak u tzv. automatových ocelí jí bývá i 0,2 % [12; 15].



Obr. 1.12. Pás prokalitelnosti oceli 13 240 [14].

2 MATERIÁLY PRO OZUBENÁ KOLA A HŘÍDELE S OZUBENÍM

Zajištění dobré funkce a životnosti vyrobené součásti úzce souvisí s vhodnou volbou použitého materiálu. Vhodný materiál je takový materiál, který splňuje určité parametry a je schopen plnit požadavky na něho kladené. Pro volbu jsou především určující jeho vlastnosti, zejména mechanické a technologické, jako je například mez kluzu, mez pevnosti, tvrdost, tažnost, tvařitelnost, obrobitelnost a možnost tepelného zpracování. Dále pak mohou být podstatné také vlastnosti chemické a fyzikální, jako je například korozivzdornost, elektrická vodivost, hustota a tepelná roztažnost materiálu.

Na výrobu ozubených kol a hřídelí s ozubením lze využívat rozsáhlou škálu materiálů. Základním materiálem ve strojní výrobě je ocel, dále pak mohou být ozubená kola a hřídele vyráběny z různých druhů plastů, neželezných kovových materiálů a litin, pro specifické použití mohou být vyráběny i ze dřeva.

Již zmíněným nejvíce používaným materiálem ozubených kol a hřídelí s ozubením pro přenos větších sil je ocel, je to díky jejím vlastnostem. Téměř ze všech materiálů, které se používají pro tuto výrobu, je ocel nejpevnějším materiálem. Ocel je dělena do několika skupin dle jejích vlastností a chemického složení. Pro výrobu ozubených kol a hřídelí se používá jen několik těchto skupin.

Pro kola přenášející relativně klidné zatížení o malém nebo středním zatížení se běžně používají oceli konstrukční třídy 11, oceli nelegované ušlechtilé uhlíkové třídy 12 a oceli nízkolegované slitinové třídy 13. Oceli těchto tříd jsou pro dosažení potřebných mechanických vlastností zušlechťovány nebo normalizačně žíhány. Tvrdost takto tepelně zpracovaných součástí z těchto materiálů je pod hranicí 350 HB, proto zuby vyřezaného ozubení jsou odolné proti křehkému porušení. Tepelné zpracování těchto ocelí probíhá před samotnou výrobou součásti, proto přesnost výroby je konečnou přesností hotové součásti, nehrozí zde deformace tepelným zpracováním, které u některých skupin ocelí následuje až po obrábění. Z pohledu technologie výroby a použitého materiálu jsou tato kola relativně levná a vhodná pro použití tam, kde není kladen důraz na přesnost a tuhost uložení. Ve dvojici ozubených kol bývá větší kolo vyrobeno z oceli třídy 11 a menší kolo z této dvojice, pastorek, bývá vyroben z oceli třídy 12 nebo 13. Nejpoužívanějšími zástupci těchto tříd jsou například oceli 11 500, 11 600, 11 700, 12 050, 12 060 a 13 151 [10].

Pro ozubená kola a hřídele s ozubením přenášející klidné i rázové zatížení středních až velmi vysokých krouticích momentů je možné použití ocelí téměř všech tříd od 12 až po 16 při patřičném tepelném či chemicko-tepelném zpracování, pro specifické použití lze použít i některé oceli z třídy 17. Tvrdost tohoto ozubení je nad hranicí 350 HB, takováto kola se používají pro širokou škálu náročných konstrukčních, technologických a provozních aplikací převodů. Volbou vhodné kombinace oceli o určitém složení s určitým druhem tepelného či chemicko-tepelného zpracování, což je především kalení, cementování nebo nitridování, je možné získat ocel o vysoké pevnosti a odolnosti pro vysoce namáhané součásti s tvrdostí až 650 HB. Tepelné zpracování u těchto ocelí probíhá z technologických důvodů ve většině případech po obrobení ozubení, čímž je přesnost ozubení narušena teplotními deformacemi. Z tohoto důvodu je nutné ve většině případů použití dokončovacích metod výroby ozubení, jako je například broušení, ševingování, lapování nebo honování. Toto způsobuje i několikanásobné prodražení výroby oproti součástím z ocelí zušlechťovaných před samotnou výrobou [10].

Jedním z nejzákladnějších tepelných zpracování ocelí pro ozubení je povrchové kalení, které je výhodnější a v neposlední řadě i levnější než dříve převážně používané objemové kalení. Povrchovým kalením získáváme na povrchu součásti tvrdou otěruvzdornou vrstvu s měkkým a houževnatým jádrem uvnitř součásti. Před samotnou výrobou součásti je polotovár doporučeno zušlechtit, nebo vyžítat, aby bylo dosaženo požadovaných mechanických

vlastností jádra součásti, které se po aplikaci povrchového kalení téměř nezmění. Ohřev součásti na kalící teplotu při povrchovém kalení probíhá buď plamenem, nebo indukčním ohřevem, který je pro povrchové kalení výhodnější z hlediska výsledného povrchu kalené součásti. Deformace ozubení vzniklé tepelným zatížením jsou při povrchovém kalení zanedbatelné, ve většině případů se jedná o jeden stupeň přesnosti, není nutné po povrchovém kalení zařazovat pro ozubení dokončovací operace, jako je například broušení, ale v mnoha případech je dostačující obrobit ozubení na čisto před následným povrchovým kalením. Dosahované tvrdosti povrchové vrstvy povrchově kalené součásti je u ocelí vhodných, pro tento druh tepelného zpracování, v rozmezí 45 HRC až 55 HRC. Nejčastěji používanými a zároveň doporučenými oceli pro povrchové kalení jsou například oceli 12 060, 13 240, 14 120, 15 241, které mají obsah uhlíku v rozmezí od 0,3 % po 0,6 % [7; 10].

Další možností, jak zvýšit tvrdost a otěruvzdornost ozubení pro velmi namáhaná kola, je nacementování povrchu zubů a následné objemové kalení. Cementace je sycení povrchu součásti uhlíkem v cementačním prášku, v roztavené soli, nebo v plynu. Hloubka cementované vrstvy bývá často v rozmezí od 0,3 mm do 2,5 mm, v ojedinělých případech jen 0,1 mm. Pro ozubení je doporučeno volit hloubku nacementované vrstvy v závislosti na velikosti modulu ozubení, pro modul menší než 4 mm je doporučeno rozmezí jako násobek modulu 0,2 až 0,25 a pro modul větší než 4 mm je doporučena tloušťka nacementované vrstvy jako polovina druhé odmocniny modulu ozubení. Obsah uhlíku v nacementované vrstvě je přibližně 1 % a tvrdost této kalené vrstvy je v rozmezí 60 HRC až 63 HRC. Nevýhodou tohoto chemicko-tepelného zpracování je časová a finanční náročnost, za další nevýhodu můžeme považovat vznikající deformace součástí při ohřevu, z tohoto důvodu je nutné po tomto procesu zařadit některou z vhodných dokončovacích operací. Pro cementování se používají oceli nelegované i legované s nízkým obsahem uhlíku, jako jsou například oceli 12 020, 14 220 nebo 14 221 [10].

Nitridování je obdobou cementování, jedná se o sycení povrchu součásti dusíkem, to probíhá buď v plynném, nebo v kapalném prostředí, většinou za teplot v rozmezí 480 °C až 560 °C. Čím vyšší teplota, tím nižší tvrdost povrchu a větší hloubka nitridované vrstvy. Hloubka nitridované vrstvy v plynném prostředí bývá několik desetin milimetru, při nitridování v kapalném prostředí bývá hloubka jen několik setin milimetru. Nitridované ozubení je vhodné pro přenášení klidného zatížení, které může být i vysoké, ale nemělo by docházet k jeho přetěžování, což by mohlo vést k opotřebení boků zubů a k obroušení tenké nitridované vrstvy. Tvrdost nitridované vrstvy je běžně v rozmezí od 60 do 65 HRC. Při nitridování dochází k nepatrnému zvětšování objemu součásti (o jednotky setin milimetru), ale téměř nedochází k deformování součásti, proto není vyžadováno dokončovacích operací, naopak při případném dokončovacím broušení by došlo k odstranění tenké povrchové vrstvy. Doporučená, pro nitridovaná ozubená kola, jsou například oceli 14 340 a 15 230 s legujícími prvky zahrnující chrom, hliník a vanad. Oceli je nutné před nitridováním zušlechtit [7; 10].

Nitrocementování je kombinací předchozích dvou chemicko-tepelných zpracování, je to současně sycení povrchu součásti dusíkem a uhlíkem v plynném prostředí. Probíhá za teplot nižších než při cementaci, ale zároveň vyšších než při nitridaci. Nitrocementováním a kalením získáváme tvrdou povrchovou vrstvu odolnou proti opotřebení a zadírání. Nitrocementované ozubení je možné použít i pro velmi namáhané převody pracující v prostředí bez maziva při polosuchém, či suchém tření [7].

2.1 Oceli používané pro ozubená kola a hřídele s ozubením

Konstrukční oceli třídy 11

Tyto neušlechtilé konstrukční oceli se běžně používají ve stavu, v jakém jsou dodávány z hutí, to bývá nejčastěji bez tepelného zpracování, nebo normalizačně vyžíhané, případně vyžíhané

s uvedením způsobu žíhání. Z důvodu chemického složení, které není vždy přesně specifikováno, například u uhlíku je předepsána jenom jeho horní hranice (dolní hranice není omezena), se tyto oceli nedoporučují pro tepelné zpracování [6].

Souhrn několika základních, často používaných, ocelí:

- **11 500**

Ocel obvyklých jakostí s vyšším obsahem uhlíku, vhodná pro použití na strojní součásti, které se nesvařují, jelikož je to ocel obtížně svařitelná. Součásti z této oceli mohou být namáhány staticky i dynamicky, jako jsou hřídele, méně namáhaná ozubená kola, čepy, kolíky, podložky, příruby a jiné soustružené součásti, dále také různé základové a upínací desky, vodítka, lišty, matice a šrouby. Je vhodná i na kované součásti pro tepelná energetická zařízení [11; 16].

Tab. 2.1 Chemické složení oceli 11 500 [14].

Chemické složení v hmotnostních %		
P	S	N
Max 0,045	Max 0,045	Max 0,009

Normalizační žíhání se u této oceli provádí za teplot 870 °C až 900 °C s ochlazováním na vzduchu, též popouštění se provádí ochlazováním na vzduchu z teplot 670 °C až 700 °C. Mez pevnosti R_m je u tepelně nezpracované oceli udávána v rozmezí 470 MPa až 610 MPa, tvrdost maximálně 268 HB [1; 14].

Značení této oceli je dle [14]:

značky ČSN	11 500,
značky EN	E295,
čísla EN	1.0050.

- **11 600**

Ocel obvyklých jakostí s vyšším obsahem uhlíku, není vhodná ke svařování (tavná svařitelnost obtížná), používá se pro strojní součásti vystavené velkému měrnému tlaku a součásti namáhané staticky i dynamicky. Jsou to například hřídele, osy, ozubená kola, řetězová kola, ozubené hřebeny, tělesa fréz, čepy, kolíky, vložky a segmenty axiálních ložisek, objímky, kladky, šrouby, matice, různé upínací elementy apod. Je vhodná i na polotovary následně tvarované ohybem [11; 16].

Tab. 2.2 Chemické složení oceli 11 600 [14].

Chemické složení v hmotnostních %		
P	S	N
Max 0,045	Max 0,040	Max 0,009

Normalizační žíhání se u této oceli provádí za teplot 840 °C až 870 °C s ochlazováním na vzduchu, popouštění se provádí z teplot 670 °C až 700 °C také s ochlazováním na vzduchu. Mez pevnosti R_m je u tepelně nezpracované oceli udávána v rozmezí 590 MPa až 705 MPa, tvrdost maximálně 295 HB [1; 14].

Značení této oceli je dle [14]:

značky ČSN	11 600,
značky EN	E335,
čísla EN	1.0060.

- **11 700**

Ocel obvyklých jakostí s vyšším obsahem uhlíku, vhodná na strojní součásti s požadovanou vyšší odolností proti opotřeбенí a odolností proti namáhání. Není

vhodná ke svařování z důvodu obtížné svařitelnosti. Používá se na výkovky a výlisky o velké tvrdosti bez tepelného zpracování, dále například na destičky Gallových řetězů, nebo na držáky soustružnických nožů [11; 16].

Tab. 2.3 Chemické složení oceli 11 700 [14].

Chemické složení v hmotnostních %		
P	S	N
Max 0,045	Max 0,045	Max 0,009

Normalizační žihání se u této oceli provádí za teplot 810 °C až 840 °C s ochlazováním na vzduchu, popouštění se provádí z teplot 670 °C až 700 °C také s ochlazováním na vzduchu. Mez pevnosti R_m je u tepelně nezpracované oceli udávána v rozmezí 685 MPa až 835 MPa a tvrdost maximálně 290 HB [1; 14].

Značení této oceli je dle [14]:

značky ČSN	11 700,
značky EN	E360,
čísla EN	1.0070.

Konstrukční oceli třídy 12

Ušlechtilé uhlíkové konstrukční oceli, nejsou legované, ale mají přesněji definované chemické složení oproti ocelím třídy 11. Obsah uhlíku je přesně definován, bývá u jednotlivých ocelí odstupňován v rozsahu od 0,06 do 0,70 %, což umožňuje jejich použití pro tepelné, nebo chemicko-tepelné zpracování. Pro využití jejich maximálních mechanických vlastností se používají většinou ve zušlechťeném a žíhaném stavu. S obsahem uhlíku do 0,2 % se tyto oceli používají k cementování a kalení pro součásti odolné proti opotřebení, s obsahem uhlíku větším než 0,2 % jsou určeny k zušlechťování, prokalitelnost mají do 40 mm. Oceli této skupiny s nejvyšším obsahem uhlíku se používají na výrobu méně namáhaných pružin. Přidáním přísady 0,004 % boru se zvýší prokalitelnost součásti, prokalitelnost lze zvětšit také přidáním jiných prvků, jako jsou Ni, Cr a Mo, ale v mnohem větším objemu. Po zušlechťení jsou tyto oceli relativně dobře obrobitelné [7; 16].

Souhrn několika základních, často používaných, ocelí:

- **12 020**

Ocel uhlíková vhodná k cementování, kalení, zušlechťování a žihání, není vhodná ke galvanickému pokovování. Má zaručenou svařitelnost a používá se především pro méně namáhané strojní součásti se střední pevností v jádře, které jsou určeny k cementování a kalení. Vhodná pro součásti silničních motorových vozidel, jako jsou hřídele, pouzdra, méně namáhaná ozubená kola, vačkové hřídele, větší řetězová kola, dále je v žíhaném stavu vhodná pro háky jeřábů, výtahů apod. [11; 16].

Tab. 2.4 Chemické složení oceli 12 020 [14].

Chemické složení v hmotnostních %							
C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
0,13 až 0,20	0,60 až 0,90	0,15 až 0,40	Max 0,25	Max 0,30	Max 0,30	Max 0,040	Max 0,040

Normalizační žihání se u této oceli provádí za teplot 880 °C až 920 °C s ochlazováním na vzduchu, popouštění se provádí z teplot 150 °C až 200 °C také s ochlazováním na vzduchu. Cementování je možné provádět v plynu, v prášku i v solné lázni,

a to v rozmezí teplot mezi 860 °C až 930 °C. Kalení je při teplotě 780 °C až 810 °C při ochlazování ve vodě. Mez pevnosti R_m je po normalizačním žihání udávána minimálně 380 MPa a tvrdost maximálně 163 HB. Tvrdost povrchové vrstvy po cementování a kalení je 60 ± 3 HRC [1; 14].

Značení této oceli je dle [14]:
 značky ČSN 12 020,
 značky EN C16E,
 čísla EN 1.1148.

• 12 050

Uhlíková nelegovaná ukladněná ocel, vhodná k zušlechťování a k povrchovému kalení s prokalitelností do průměru 40 mm. Je vhodná na větší ozubená kola, šneky, ozubené věnce, ojnice, pístnice, písty kompresorů, vřetena soustruhů, klikové hřídele, hřídele těžních strojů, šrouby, čepy, různé spojovací součásti a také na části nástrojů, vrtací tyče a frézovací trny. Vhodná je také na velké výkovky a mírně namáhané pružiny hospodářských strojů [11; 16].

Tab. 2.5 Chemické složení oceli 12 050 [14].

Chemické složení v hmotnostních %							
C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
0,42 až 0,50	0,50 až 0,80	0,17 až 0,37	Max 0,25	Max 0,30	Max 0,30	Max 0,040	Max 0,040

Normalizační žihání se u této oceli provádí za teplot 840 °C až 870 °C s ochlazováním na vzduchu, popouštění se provádí z teplot 530 °C až 670 °C také s ochlazováním na vzduchu. Povrchové kalení je při teplotě 830 °C až 860 °C při ochlazování v oleji a 800 °C až 830 °C při ochlazování ve vodě. Mez pevnosti R_m je po normalizačním žihání udávána minimálně 530 MPa a tvrdost maximálně 225 HB. Povrchová tvrdost po povrchovém kalení je na součásti o průměru do 40 mm 58 ± 3 HRC a u součásti o průměru mezi 41 mm a 100 mm je 55 ± 3 HRC [1; 14].

Značení této oceli je dle [14]:
 značky ČSN 12 050,
 značky EN C45E,
 čísla EN 1.1191.

• 12 060

Uhlíková nelegovaná ocel, vhodná k povrchovému kalení a zušlechťování s optimálním průměrem pro zušlechtění 26 mm ve vodě, nebo 13 mm v oleji. Svařitelnost této oceli je obtížná. Je vhodná na méně namáhané hřídele silničních vozidel, ozubená kola, hřídele turbokompresorů, vřetena, šrouby, pístnice, spojovací součásti, méně namáhané pružiny hospodářských strojů a na součásti mající vzdorovat opotřebení [11; 16].

Tab. 2.6 Chemické složení oceli 12 060 [14].

Chemické složení v hmotnostních %							
C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
0,52 až 0,60	0,50 až 0,80	0,15 až 0,40	Max 0,25	Max 0,30	Max 0,30	Max 0,040	Max 0,040

Normalizační žihání se u této oceli provádí za teplot 810 °C až 840 °C s ochlazováním na vzduchu, popouštění se provádí z teplot 540 °C až 680 °C s ochlazováním na vzduchu. Povrchové kalení je při teplotě 800 °C až 830 °C při ochlazování ve vodě (obvykle praská) a 810 °C až 840 °C při ochlazování v oleji. Mez pevnosti R_m je po

normalizačním žíhání udávána minimálně 600 MPa a tvrdost maximálně 253 HB. Povrchová tvrdost po povrchovém kalení je u průměru do 40 mm 60±3 HRC a u průměru mezi 41 mm a 100 mm je 57±3 HRC [1; 14].

Značení této oceli je dle [14]:
 značky ČSN 12 060,
 značky EN C55E,
 čísla EN 1.1203.

Konstrukční oceli třídy 13

Jsou to oceli nízkolegované manganové a mangan-křemíkové, přidáním těchto legujících prvků se zvyšuje prokalitelnost, manganu je většinou nad 1 % a křemíku nad 0,2 %. Přidáním většího obsahu křemíku se snižují plastické vlastnosti materiálu. Další přísadou, která se přidává do těchto ocelí, je vanad, zmírňující růst zrna při austenizaci. Obsah uhlíku bývá u jednotlivých ocelí odstupňován od hodnoty 0,1 % až do 0,5 %. Tepelným zpracováním lze získat oceli s vyšší houževnatostí, nebo naopak oceli s vyšší pevností, záleží na obsahu uhlíku. S nižším obsahem uhlíku jsou houževnaté a mají dobrou svařitelnost. Při tepelném zpracování je potřeba dbát pečlivosti, jelikož tyto oceli jsou náchylné k růstu zrna [7; 16].

Souhrn několika základních, často používaných, ocelí:

- **13 151**

Křemíková ocel o střední pevnosti, vhodná k zušlechťování a pro velké výkovky. Použitelná do maximálního čistého průměru 750 mm na ozubená kola, šneky, a hříbenové válce v zušlechťeném stavu, ve stavu normalizačně žíhaném je vhodná až do průměru 1000 mm na věnce ozubených kol [11; 16].

Tab. 2.6 Chemické složení oceli 13 151 [14].

Chemické složení v hmotnostních %				
C	Mn	Si	P	S
0,42 až 0,50	0,50 až 0,80	1,30 až 1,70	Max 0,040	Max 0,040

Optimální průměr pro zušlechťení je 20 mm ve vodě, nebo 15 mm v oleji. Normalizační žíhání se u této oceli provádí za teplot 830 °C až 860 °C s ochlazováním na vzduchu, popouštění se provádí z teplot 540 °C až 680 °C s ochlazováním v oleji nebo na vzduchu. Kalení je při teplotě 820 °C až 840 °C při ochlazování ve vodě, nebo v oleji. Mez pevnosti R_m je ve stavu normalizačně žíhaném a popouštěném udávána v rozmezí 635 MPa až 735 MPa a tvrdost 183 HB až 211 HB [1; 14].

Značení této oceli je dle [14]:
 značky ČSN 13 151,
 značky DIN 46 Si 7.

- **13 240**

Mangan-křemíková ocel vhodná k zušlechťování a povrchovému kalení, ale je náchylná k popouštěcí křehkosti. Je dobře obrobitelná a dobře tvařitelná. Vhodná na strojní součásti, a některé části silničních motorových vozidel, středně namáhané a odolné proti opotřebení. Například na hřídele, nápravy, čepy kol, ozubená kola, ojnice, páky a šrouby. Svařitelnost oceli je obtížná a optimální průměr pro zušlechťení je 50 mm ve vodě, nebo 23 mm v oleji [11; 16].

Tab. 2.7 Chemické složení oceli 13 240 [14].

Chemické složení v hmotnostních %				
C	Mn	Si	P	S
0,33 až 0,41	1,10 až 1,40	1,10 až 1,40	Max 0,035	Max 0,035

Normalizační žíhání se u této oceli provádí za teplot 850 °C až 900 °C s ochlazováním na vzduchu, popouštění se provádí z teplot 530 °C až 680 °C s ochlazováním ve vodě, tvarově složitější součásti v oleji. Kalení je při teplotě 820 °C až 850 °C při ochlazování ve vodě a 840 °C až 890 °C při ochlazování v oleji. Mez pevnosti R_m je po zušlechťení na dolní pevnost udávána v rozmezí 690 MPa až 1180 MPa. Povrchová tvrdost po povrchovém kalení je u průměru do 40 mm 55±2 HRC a u průměru mezi 41 mm a 100 mm je 53±2 HRC [1; 14].

Značení této oceli je dle [14]:

značky ČSN	13 240,
čísla EN	1.5122,
značky DIN	37MnSi5.

Konstrukční oceli třídy 14

Do této skupiny ocelí se řadí oceli chromové, mangan-chromové a křemík-chromové, z čehož vyplývá, že hlavním legujícím prvkem těchto ocelí je chrom a za legující prvek se považuje od obsahu nad 0,3 %, pod tuto hranici jej lze považovat za nečistotu. Na zušlechťování se tyto nízkolegované chromové oceli používají nejčastěji jako legované manganem a křemíkem se středním obsahem uhlíku (cca 0,30 %), zušlechťením u nich lze získat pevnost až 1800 MPa, což lze považovat za oceli s vysokou pevností. Chrom-manganové oceli mohou nahrazovat v některých případech, většinou do průměru 30 mm, oceli chrom-niklové, a to z důvodu vysoké houževnatosti a prokalitelnosti. Nevýhodou ale těchto ocelí je, že ztrácejí s klesající teplotou houževnatost, především při záporných teplotách. Chromové oceli s obsahem uhlíku kolem 1 % mají velkou tvrdost a dobrou odolnost proti otěru, používají se pro kuličky a kroužky valivých ložisek. Součásti, které mají průměr do 30 mm je vhodné kalit do oleje, větší součásti je vhodné kalit do vody. Oceli této třídy jsou poměrně často používané, umožňují získat dobré mechanické vlastnosti, obvykle se kalí, zušlechťují, cementují a některé lze i nitridovat [7; 16].

Souhrn několika základních, často používaných, ocelí:

- **14 120**

Chromová ocel k cementování, má dobrou tvařitelnost za tepla, po žíhání na měkko i za studena, a má dobrou obrobitelnost. Je vhodná na strojní součásti s tvrdou cementovanou vrstvou, odolnou proti opotřebení, a se střední pevností v jádře po kalení. Povrch po cementaci a kalení je nutno brousit. Použití například na ozubená kola, šneky, čepy, kroužky, vodítka, výstředníky, části klikových hřídelů, čelisti, vřetena, vačky apod. Použitelná také na méně namáhané nástroje, například frézy na dřevo [11; 16].

Tab. 2.6 Chemické složení oceli 14 120 [14].

Chemické složení v hmotnostních %					
C	Mn	Si	Cr	P	S
0,12 až 0,18	0,40 až 0,70	0,17 až 0,37	0,70 až 1,00	Max 0,035	Max 0,035

Prokalitelnost této oceli je do 30 mm ve vodě a do 15 mm v oleji. Normalizační žíhání se provádí za teplot 880 °C až 920 °C s ochlazováním na vzduchu, žíhání na měkko

se provádí za teplot 650 °C až 680 °C, popouštění se provádí z teplot 150 °C až 200 °C s ochlazováním na vzduchu. Kalení je při teplotě 800 °C až 840 °C při ochlazování v oleji a tlustší při ochlazování ve vodě. Teploty tváření jsou 1250 °C až 800 °C s ochlazováním na vzduchu. Po kalení a popouštění je mez pevnosti R_m udáván 588 MPa a tvrdost minimálně 176 HB [1; 14].

Značení této oceli je dle [14]:

značky ČSN	14 120,
značky EN	17Cr3,
čísla EN	1.7016.

• **14 220**

Ušlechtilá konstrukční mangan-chromová ocel vhodná převážně k cementování, nitridování a nitrocementování, hlavními legujícími prvky je mangan a chrom. Ocel má po žíhání na měkko dobrou obrobitelnost, má dobrou svařitelnost i tvárnost za tepla. Je vhodná pro strojní součásti cementované s velmi tvrdou povrchovou vrstvou a s velkou pevností v jádře po kalení. Vhodná na výrobu menších hřídelí, ozubená kola, řetězová kola, kardanové hřídele, pístní čepy, zubové spojky, talířová kola apod. Též je možné ji použít na nástroje, méně namáhané formy na lisování plastů apod. Pro hladké obrábění se ocel doporučuje zušlehtit na mez pevnosti kolem 690 MPa až 880 MPa [11; 16].

Tab. 2.7 Chemické složení oceli 14 220 [14].

Chemické složení v hmotnostních %					
C	Mn	Si	Cr	P	S
0,14 až 0,19	1,10 až 1,40	0,17 až 0,37	0,80 až 1,10	Max 0,035	Max 0,035

Optimální průměr pro zušlechtění je do 35 mm. Normalizační žíhání se u této oceli provádí za teplot 880 až 920 °C s ochlazováním na vzduchu, popouštění se provádí z teplot 150 °C až 200 °C s ochlazováním na vzduchu. Kalení je při teplotě 810 °C až 840 °C při ochlazování v oleji, nebo v lázni 150 °C až 200 °C. Mez pevnosti R_m je ve stavu kaleném a popuštěném udávána minimálně 785 MPa a tvrdost minimálně 239 HB [1; 14].

Značení této oceli je dle [14]:

značky ČSN	14 220,
značky EN	16MnCr5,
čísla EN	1.7131.

• **14 221**

Ušlechtilá konstrukční mangan-chromová ocel vhodná k cementování, je dobře obrobitelná a dobře tvařitelná za tepla. Hlavní legující prvky je chrom a mangan. Ocel je vhodná pro velké strojní součásti cementované a kalené s velmi tvrdou povrchovou vrstvou a se značnou pevností v jádře. Vhodná například na velká ozubená kola určená k cementování, vačkové kotouče, řetězová kola, čepy, hřídele, a další součásti větších rozměrů. Po cementaci a kalení je povrch součásti nutné brousit [11; 16].

Tab. 2.8 Chemické složení oceli 14 221 [14].

Chemické složení v hmotnostních %					
C	Mn	Si	Cr	P	S
0,17 až 0,22	1,00 až 1,30	0,17 až 0,37	1,00 až 1,30	Max 0,035	Max 0,035

Optimální průměr strojních součástí pro zušlechťení je do 40 mm. Normalizační žíhání se u této oceli provádí za teplot 880 °C až 920 °C s ochlazováním na vzduchu, popouštění se provádí z teplot 150 °C až 200 °C s ochlazováním na vzduchu. Kalení je při teplotě 810 °C až 840 °C při ochlazování v oleji, nebo v lázni 150 °C až 200 °C. Mez pevnosti R_m je ve stavu kaleném a popuštěném udávána minimálně 981 MPa a tvrdost minimálně 300 HB [1; 14].

Značení této oceli je dle [14]:

značky ČSN	14 221,
značky EN	20MnCr5,
čísla EN	1.7147.

• 14 340

Chrom-hliníková ušlechtilá konstrukční ocel vhodná k nitridování pro součásti u kterých je požadována nejvyšší povrchová tvrdost. Má dobrou obrobiteľnosť a za tepla i dobrou tvárnost. Použitelná například pro válce leteckých motorů, součásti automobilů, ozubená kola, výstředníky, plunžry apod. Vhodná je také na pravítka, měrky, vodítka, měřidla apod. Optimální průměr pro zušlechťení je 50 mm (voda) [11].

Tab. 2.9 Chemické složení oceli 14 340 [14].

Chemické složení v hmotnostních %						
C	Mn	Si	Cr	Al	P	S
0,28 až 0,38	0,50 až 0,90	0,17 až 0,37	1,30 až 1,90	0,90 až 1,30	Max 0,035	Max 0,035

Normalizační žíhání se u této oceli provádí za teplot 880 °C až 920 °C s ochlazováním na vzduchu, popouštění se provádí z teplot 560 °C až 680 °C s ochlazováním ve vodě. Kalení je při teplotě 850 °C až 880 °C při ochlazování ve vodě. Mez pevnosti R_m je ve stavu zušlechťeném na dolní pevnost udávána v rozmezí mezi 785 MPa a 932 MPa, tvrdost je v rozmezí 239 HB až 285 HB [1; 14].

Značení této oceli je dle [14]:

značky ČSN	14 340,
značky DIN	34CrAl6,
čísla EN	1.8504.

Konstrukční oceli třídy 15

Hlavními legujícími prvky ocelí této třídy je kombinace chromu s vanadem, nebo molybdenem, případně s wolframem. Vanad, jako legující prvek, zjemňuje zrna, snižuje jeho rychlost růstu při tepelném zpracování, zvětšuje odolnost proti únavě a působí dezoxidačně. Molybden, jako legující prvek, zvyšuje prokalitelnost a snižuje náchylnost k popouštěcí křehkosti. Chrom-vanadové oceli jsou vhodné ke svařování, používají se i v kaleném stavu a mají dobrou lomovou houževnatost i při teplotách kolem 100 °C pod nulou. Chrom-molybdenové oceli mají větší houževnatost oproti ocelím chrom-vanadovým, ale mají také oproti nim menší pevnost, dobře také snášejí působení vyšších teplot, řadí se mezi oceli žárovebné. S větším obsahem chromu jsou vhodné na součásti s velkou tloušťkou stěny, u kterých se požaduje kalení v mírnějším prostředí. Oceli chrom-molybden-vanadové jsou vhodné na nitridování, mají dobré plastické vlastnosti i při záporných teplotách a mají zvýšenou prokalitelnost. Oceli chrom-mangan-vanadové mají zvýšenou prokalitelnost a zjemněné zrna, při použití izotermického kalení získávají vyšší plasticitu a v zušlechťeném stavu mívají pevnost až 1600 MPa. Obecně se tyto oceli používají na velmi namáhané strojní součásti (například: ozubená kola, hřídele, šrouby, ojnice, čepy) povrchově kalené, nitridované, cementované, nebo zušlechťené, pro motorová vozidla, letecký průmysl a různé stroje [7; 16].

Chrom-vanadová ocel vhodná ke kalení plamenem, k nitrídování a k zušlechťování. Má dobrou svařitelnost, ve stavu žíhaném na měkko dobrou obrobiteľnosť a za tepla dobrou tvariteľnosť. Vhodná na veľmi namáhané strojní súčasti, jako jsou například klikové hriadele letadlových motorů, ojnice, ojnicní šrouby, hlavy vrtulí, nitrídovaná ozubená kola, pro veľkou prokaliteľnosť i na veľké výkovky apod. [11; 16].

Chemické složení v hmotnostních %						
C	Mn	Si	Cr	V	P	S
0,24 až 0,34	0,40 až 0,80	0,17 až 0,37	2,20 až 2,50	0,10 až 0,20	Max 0,035	Max 0,035

Nízkolegovaná chrom-vanadová ocel, použitelná k zušlechťování a povrchovému kalení. Ocel je dobře obrobitelná po vyžhání na měkko a je také dobře tvaritelná za tepla. Má vhodné použití pro výrobu součástí, u nichž je žádoucí velká pevnost a dostatečná tažnost, jaká je potřeba například u strojních součástí silničních motorových vozidel a jiných strojních zařízení. Příkladem použití mohou být hřídele kol, ozubená povrchově kalená kola, talířová kola, torzní tyče apod. [11; 16].

Chemické složení v hmotnostních %							
C	Mn	Si	Cr	Ni	V	P	S
0,35 až 0,43	0,60 až 0,80	0,17 až 0,37	1,70 až 2,00	Max 0,60	0,10 až 0,20	Max 0,035	Max 0,035

Normalizační žíhání se u této oceli provádí za teplot 880 °C až 920 °C s ochlazováním na vzduchu, popouštění se provádí z teplot 550 °C až 650 °C s ochlazováním na vzduchu. Kalení je při teplotě 860 °C až 900 °C s ochlazováním do oleje, pro velké výkovky jsou teploty o 20 °C nižší. Meze pevnosti R_m je možné u této oceli dosáhnout až 1716 MPa zušlechtním na horní tvrdost. Povrchová tvrdost po povrchovém kalení je na povrchu součásti o průměru do 40 mm 55±2 HRC, a na povrchu součásti o průměru od 41 mm do 100 mm 53±2 HRC [1; 14].

Značení této oceli je dle [14]:

značky ČSN	15 241,
značky DIN	42CrV6.

- **15 260**

Mangan-chrom-vanadová ušlechtilá nízkolegovaná ocel k zušlechťování. Svařitelnost obtížná, obrobitelnost ve stavu žíhaném na měkko dobrá, tvárnost za tepla také dobrá. Vhodná je na velmi namáhané strojní součásti a součásti motorových vozidel, jako jsou například čepy, hřídele kol, klikové hřídele, předlokové hřídele, spojkové hřídele, ozubená kola, vřetena, poloosy, pístnice, pružiny, klíče na šrouby apod. Optimální tloušťka pro zušlechťování je 80 mm [11; 16].

Tab. 2.12 Chemické složení oceli 15 260 [14].

Chemické složení v hmotnostních %							
C	Mn	Si	Cr	Ni	V	P	S
0,47 až 0,55	0,70 až 1,00	0,15 až 0,40	0,90 až 1,20	Max 0,30	0,10 až 0,20	Max 0,035	Max 0,035

Normalizační žíhání se u této oceli provádí za teplot 850 °C až 890 °C s ochlazováním na vzduchu, popouštění se provádí z teplot 550 °C až 690 °C s ochlazováním do vody, tvarově složitější součásti do oleje. Kalení je při teplotě 820 °C až 860 °C s ochlazováním do oleje. Meze pevnosti R_m je možné u této oceli dosáhnout až 1670 MPa zušlechtěním na horní tvrdost. Povrchová tvrdost po povrchovém kalení je na povrchu součásti o průměru do 40 mm 60±2 HRC, a na povrchu součásti o průměru od 41 mm do 100 mm 58±2 HRC [1; 14].

Značení této oceli je dle [14]:
 značky ČSN 15 260,
 značky EN 51CrV4,
 čísla EN 1.8159.

Konstrukční oceli třídy 16

Do této skupiny ušlechtilých nízko a středně legovaných ocelí patří oceli nikl-chromové, u kterých je základním legujícím prvkem nikl. Nikl má pozitivní vliv na houževnatost, kterou zvyšuje, ale také zvyšuje pevnost oceli. Jsou relativně snadno tepelně zpracovatelné a mají jednu z největších hodnot prokalitelnosti. U těchto ocelí je obsah uhlíku většinou volen v rozmezí od 0,2 % do 0,4 %, v některých případech až 0,5 %, podle požadavku na prokalitelnost a houževnatost, při požadavku vysoké houževnatosti se volí pod hranici 0,25 %. Obsah niklu bývá odstupňován v rozmezí od 1,20 % do 5,20 %. Pokud je obsah niklu nad 4 %, jsou tyto oceli samokalitelné. Oceli této třídy jsou považovány za jedny z nejlepších vzhledem k pevnostním charakteristikám a houževnatosti, jsou především vhodné pro použití při teplotách pod bodem mrazu. Vhodné jsou na velmi namáhané součásti strojů, letadel, parních turbín a silničních vozidel, jako jsou například rotory, hřídele, ozubená kola a čepy [7; 16].

Souhrn několika základních, často používaných, ocelí:

- **16 220**

Nikl-chromová ocel k cementování, za tepla je dobře tvárná a je dobře obrobitelná. Je vhodná na cementování v plynu, solné lázni i v prášku, s ochlazováním převážně na vzduchu. Vhodná je na velmi namáhané strojní součásti, které jsou určeny k cementování. Po kalení je jádro součásti velmi houževnaté s vysokou pevností. Použitelná například pro ozubená kola do převodovek, drážkové hřídele, předlokové hřídele, talířová kola, pístní čepy a jiné značně namáhané čepy, kardanové kříže, kola diferenciálu, hřídele hnacích kol pro vozidla, kladky apod. [11; 16].

Tab. 2.13 Chemické složení oceli 16 220 [14].

Chemické složení v hmotnostních %						
C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
0,14 až 0,19	0,70 až 1,00	0,17 až 0,37	0,80 až 1,10	1,30 až 1,60	Max 0,035	Max 0,035

Normalizační žíhání se u této oceli provádí za teplot 880 °C až 920 °C s ochlazováním na vzduchu. Kalení je z teploty mezi 800 °C až 830 °C do oleje nebo do lázně s teplotou 150 °C až 170 °C. Prokalitelnost má tato ocel do hloubky až 70 mm ve vodě a v oleji do 45 mm, tvrdost povrchové cementované vrstvy je přibližně 62 HRC. Povrch po cementování a kalení je nutné brousit. Meze pevnosti R_m je možné u této oceli dosáhnout až 883 MPa ve stavu kaleném, nebo kaleném a popuštěném [1; 14].

Značení této oceli je dle [14]:
 značky ČSN 16 220,
 značky EN 15NiCr6,
 čísla EN 1.5713.

- **16 341**

Nikl-chrom-molybdenová ocel k zušlechťování s dobrou obrobitelností. Pro součásti v kaleném stavu s vysokou pevností a houževnatostí v jádře s odolností proti opotřebení a proti křehkému porušení. Například pro ozubená kola do převodovek, hřebenové válce, drážkové hřídele, čepy, výstředníky apod. [11; 16].

Tab. 2.14 Chemické složení oceli 16 341 [14].

Chemické složení v hmotnostních %							
C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S
0,35 až 0,43	0,60 až 0,80	0,17 až 0,37	0,80 až 1,20	1,60 až 2,10	0,10 až 0,20	Max 0,035	Max 0,035

Normalizační žíhání se u této oceli provádí za teplot 850 °C až 880 °C s ochlazováním na vzduchu. Kalení je z teploty mezi 810 °C až 850 °C s ochlazováním do oleje, nebo na vzduchu pro součásti s průměrem větším než 10 mm. Optimálním průměrem nebo tloušťkou pro zušlechťování je 60 mm. Meze pevnosti R_m je možné u této oceli dosáhnout až 1765 MPa ve stavu zušlechtěném na horní tvrdost [1; 14].

Značení této oceli je dle [14]:
 značky ČSN 16 341,
 značky EN 36CrNiMo4.

- **16 420**

Nikl-chromová ocel určená k cementování a kalení, za tepla má dobrou tvárnost a ve stavu žíhaném je dobře obrobitelná. Vhodná na velmi namáhané strojní součásti, které jsou určené k cementaci. Po kalení mají součásti jádro vysoce pevné a houževnaté, po cementování a kalení je nutno součásti brousit. Ocel je vhodná například na součásti jako drážkové hřídele, kardánové hřídele, pastorkové hřídele, ozubená kola do převodovek, kardánové klouby, svorníky, talířová a kuželová ozubená kola, kloubové hřídele, zvláště namáhané čepy apod. [11; 16].

Tab. 2.15 Chemické složení oceli 16 420 [14].

Chemické složení v hmotnostních %						
C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
0,10 až 0,17	0,30 až 0,60	0,17 až 0,37	0,60 až 0,90	3,20 až 3,70	Max 0,035	Max 0,035

Normalizační žíhání se u této oceli provádí za teplot 830 °C až 870 °C s ochlazováním na vzduchu. Kalení je z teplot mezi 780 °C až 820 °C s ochlazováním do oleje. Prokalitelnost je u této oceli ve vodě do 70 mm, v oleji do 45 mm a tvrdost kalené cementované povrchové vrstvy je přibližně 60 HRC. Meze pevnosti R_m je možné u této oceli dosáhnout až 932 MPa ve stavu kaleném, nebo kaleném a popuštěném s tvrdostí minimálně 285 HB [1; 14].

Značení této oceli je dle [14]:
 značky ČSN 16 420,
 značky EN 15NiCr13,
 čísla EN 1.5752.

Oceli na odlitky

Do této skupiny se řadí oceli, které se odlévají do forem, tím se získává konečný polotovár pro danou součást, ten se následně ještě částečně obrábí. Oceli na odlitky mívají špatnou zabíhavost a při tuhnutí se značně zmenšují. Bývá snaha tyto oceli na odlitky nahradit litinami, pro snadnější výrobu a nižší cenu, ne vždy je to ale možné z důvodu pevnostních a jiných vlastností litin. Používají se na odlitky velkých rozměrů a na odlitky tlustostěnných velmi namáhaných součástí. Tepelným zpracováním, nejčastěji normalizačním žíháním, nebo zušlechťováním se zlepšují jejich mechanické vlastnosti, avšak v porovnání s tvářenými oceli mají mechanické vlastnosti horší. U větších či tvarově složitějších odlitků při odlévání vzniká vnitřní pnutí, které se tímto tepelným zpracováním minimalizuje. Jako oceli na odlitky lze použít téměř všechny tvářené oceli, chemické složení mají jim podobné. Dělí se z hlediska množství přísad na nelegované, nízkolegované, středně a vysoko legované oceli na odlitky [6; 12].

Na ozubená kola převážně velkých rozměrů a tvarově složitých je právě vhodné použití těchto ocelí na odlitky. Pro velká ozubená kola, případně rozměrné hřídele s ozubením, je vhodné pro malé a klidné zatížení použít například uhlíkovou nelegovanou ocel 42 2630, nebo 42 2640. Pro ozubená kola s vyšším zatížením možno použít ocel 42 2660 a s ještě případným proměnlivým zatížením je vhodné použít oceli legované u kterých je možné i povrchové kalení, například 42 2715, 42 2719, nebo 42 2750 [10].

Souhrn několika základních, často používaných, ocelí na odlitky:

- **42 2630**

Nelegovaná uhlíková ocel na odlitky feriticko-perlitická se zaručenou svařitelností do tloušťky 25 mm, nad 25 mm je svařitelnost podmíněná s použitím přehřevu 150 °C. Po svaření je doporučeno ocel žíhat při teplotě 600 °C až 650 °C. Vhodně použitelná je na odlitky méně namáhaných strojních součástí, pro díly různých konstrukcí mostů a na součásti do elektrických zařízení. Normalizačním žíháním a případně popuštěním lze dosáhnout maximální meze pevnosti R_m v rozmezí 370 MPa až 520 MPa s tvrdostí 105 HB až 150 HB [10; 17].

Tab. 2.16 Chemické složení oceli 42 2630 [14].

Chemické složení v hmotnostních %						
C	Mn	Si	P	S	P+S	Zp. výroby
0,10 až 0,20	0,40 až 0,80	0,20 až 0,50	Max 0,050 Max 0,060	Max 0,050 Max 0,060	Max 0,090 Max 0,110	zásaditá kyselá

Normalizační žíhání se u této oceli na odlitky provádí za teplot 940 °C až 970 °C s volným ochlazováním na vzduchu, žíhání ke snížení pnutí za teplot 600 °C až 650 °C s ochlazováním na vzduchu nebo v peci. Popouštění je z teplot 620 °C až 670 °C v peci nebo na vzduchu [14].

Značení této oceli je dle [14]:

ČSN	42 2630,
DIN	GS38,
EN	C18D.

- **42 2660**

Feriticko-perlitická uhlíková ocel na odlitky pro větší namáhání, svařitelnost má obtížnou, je nutný předehřev na minimálně 300 °C, poté je nezbytné ocel žíhat při teplotě 600 °C až 650 °C. Ve stavu normalizačně žíhaném je vhodná pro odlitky mostních ložisek a ve stavu zušlechtěném pro strojní součásti středně a značně namáhané [10; 17].

Tab. 2.18 Chemické složení oceli 42 2660 [14].

Chemické složení v hmotnostních %						
C	Mn	Si	P	S	P+S	Zp. výroby
0,40 až 0,50	0,40 až 0,80	0,20 až 0,50	Max 0,050 Max 0,060	Max 0,050 Max 0,060	Max 0,090 Max 0,110	zásaditá kyselá

Normalizační žíhání se u této lité oceli provádí za teplot 840 °C až 870 °C s ochlazováním na vzduchu, žíhání ke snížení pnutí za teplot 530 °C až 650 °C s ochlazováním v peci, nebo na vzduchu. Popouštění je z teplot 550 °C až 650 °C v peci nebo na vzduchu. Maximální mez pevnosti R_m lze získat v rozmezí 610 MPa až 750 MPa zušlechtěním na dolní pevnost s tvrdostí 175 HB až 215 HB [14; 17].

Značení této oceli je dle [14]:

ČSN	42 2660,
DIN	GS-60,
ISO	30-57.

- **42 2715**

Mangan-titanová ocel na odlitky, nízkolegovaná feriticko-perlitická, legovaná manganem a titanem. Svařitelnost obtížná, nutnost předehřevu minimálně 300 °C a následné žíhání ke snížení pnutí. Vhodná pro součásti s požadovanou vyšší pevností a tvrdostí, jako například velká ozubená kola [10; 17].

Tab. 2.19 Chemické složení oceli 42 2715 [14].

Chemické složení v hmotnostních %								
C	Mn	Si	Ti	P	S	P+S	Cr	Ni
0,34 až 0,42	1,20 až 1,60	0,20 až 0,50	0,02 až 0,10	Max 0,045	Max 0,045	Max 0,080	Max 0,30	Max 0,50

Normalizační žihání se u této lité oceli provádí za teplot 870 °C až 920 °C s ochlazováním na vzduchu, žihání ke snížení pnutí za teplot 590 °C až 630 °C s ochlazováním v peci. Popouštění je z teplot 620 °C až 660 °C v peci. Zušlechťením na dolní pevnost lze získat maximální mez pevnosti R_m 740 MPa až 900 MPa s tvrdostí v rozmezí 211 HB až 250 HB [14; 17].

Značení této oceli je dle [14]:

ČSN	42 2715,
DIN	GS-36Mn5.

• **42 2719**

Ocel na odlitky nízkolegovaná křemíková feriticko-perlitická, obtížně svařitelná, nutné svařovat s minimální teplotou přehřevu 350 °C a následným žiháním pro snížení pnutí. Vhodná na odlitky pro středně namáhaná ozubená kola s menší hmotností [17].

Tab. 2.20 Chemické složení oceli 42 2719 [14].

Chemické složení v hmotnostních %						
C	Mn	Si	P	S	P+S	Zp. výroby
0,52 až 0,60	0,50 až 0,80	0,50 až 0,70	Max 0,045	Max 0,045	Max 0,080	zásaditá
			Max 0,050	Max 0,05	Max 0,090	kyselá

Normalizační žihání se u této lité oceli provádí za teplot 840 °C až 880 °C s ochlazováním volně na vzduchu, žihání ke snížení pnutí za teplot 620 °C až 690 °C s ochlazováním v peci. Popouštění je z teplot 650 °C až 720 °C v peci či na vzduchu. Zušlechťením na dolní pevnost lze získat maximální mez pevnosti R_m 750 MPa až 900 MPa s tvrdostí v rozmezí 211 HB až 253 HB [14; 17].

• **42 2750**

Nikl-chromová feriticko-perlitická nízkolegovaná ocel na odlitky, je legovaná niklem a chromem. Svařitelnost obtížná, nutné přehřívát na teplotu minimálně 300 °C s následným žiháním ke snížení pnutí. Použitelná na součásti pro vyšší namáhání, například namáhaná ozubená kola [17].

Tab. 2.21 Chemické složení oceli 42 2750 [14].

Chemické složení v hmotnostních %							
C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	P+S
0,35 až 0,45	0,60 až 0,90	0,20 až 0,50	0,40 až 0,70	1,60 až 2,00	Max 0,045	Max 0,045	Max 0,080

Normalizační žihání se u této lité oceli provádí za teplot 860 °C až 900 °C s ochlazováním volně na vzduchu, žihání ke snížení pnutí za teplot 520 °C až 620 °C s ochlazováním v peci, nebo na vzduchu. Popouštění je z teplot 550 °C až 650 °C v peci, nebo na vzduchu. Kalení je z teplot 830 °C až 870 °C s ochlazováním do oleje. Zušlechťením na dolní pevnost lze získat maximální mez pevnosti R_m 800 MPa až 950 MPa s tvrdostí v rozmezí 235 HB až 280 HB [14; 17].

2.2 Litiny používané na ozubená kola a hřídele s ozubením

Šedá litina

Z litin je nejrozšířenější, je to litina s lupínkovým grafitem, obsah uhlíku je vyšší než 2,14 %. Je křehká a má malou pevnost v tahu, kolem 100 až 350 MPa, ale v tlaku ji má mnohem větší. Obrobitelnost má velmi dobrou, zabíhavost při odlévání má mnohem lepší než oceli na odlitky, to umožňuje odlévat odlitky s tenkými členitými stěnami. Často používaná je například pro skříň převodovek, tělesa motorů, válce motorů, řemenice, stojany, konstrukce a tělesa čerpadel. Šedé litiny jsou vhodné také pro větší ozubená kola, pracující při malých obvodových rychlostech s menším zatížením a bez rázů. Nejsou příliš náročná na mazání, z tohoto důvodu se v mnoha případech používají v otevřených převodech, kde je obtížné udržet mazivo. Pro málo zatěžovaná ozubená kola lze například použít šedou litinu 42 2420, nebo 42 2425. Pro ozubená kola se středním zatěžováním jsou například vhodné šedé litiny legované 42 2430, nebo 42 2435 [6; 10].

Souhrn několika základních, často používaných, šedých litin:

- **42 2425**

Litina s lupínkovým grafitem s perlitickou strukturou. Obsah fosforu je maximálně 0,50 % a obsah síry maximálně 0,15 %. Použitelná je na odlitky s tloušťkou stěny ideálně od 8 mm do 40 mm, pro menší tloušťky stěn je vhodnější použít litinu 42 2420. Je vhodná na ozubená kola, válce motorů, odlitky stojanů středně těžkých obráběcích strojů a jiné velmi namáhané strojní součásti. Pevnosti v tahu R_m lze u této litiny dosáhnout minimálně 250 MPa s tvrdostí až 240 HB [14; 17].

- **42 2430**

Litina s perlitickou strukturou a lupínkovým grafitem. Maximální obsah fosforu je 0,30 % a síry je maximálně 0,15 %. Vhodně použitelná na odlitky o tloušťce od 25 mm do 70 mm, pro odlitky o větší tloušťce je vhodnější použití litiny 42 2435. Použití této litiny je zejména na značně namáhané strojní součásti, odlitky těžkých obráběcích strojů, různé speciální odlitky, jako ozubená kola, armatury apod. Pevnost v tahu R_m je u této litiny minimálně 300 MPa a tvrdost až 260 HB [14; 17].

Tvárná litina

Vzniká očkovaním šedé litiny, má mnohem lepší mechanické vlastnosti než šedá litina, především pevnost v tahu. Je to litina s kuličkovým grafitem, s obsahem uhlíku kolem 3,2 % až 4,0 %. Tato litina je dobře tvaritelná a je možné ji svařovat. Použitelná je především pro armatury, tělesa čerpadel, ozubená kola, ložisková pouzdra, klikové hřídele apod. Pro ozubená kola, značně namáhaná na otěr a mechanicky, je možné například použití litiny 42 2306, 42 2307 nebo 42 2308. Pozitivní vlastností u litin je odolnost proti zadírání a opotřebení vlivem tření [7; 10].

Souhrn několika základních, často používaných, tvárných litin:

- **42 2306**

Feriticko-perlitická tvárná litina vhodná na odlitky s tloušťkou stěny od 5 do 100 mm. Použitelná na odlitky strojních součástí namáhaných mechanicky i na otěr, jako jsou vačkové a klikové hřídele, ozubená kola, válce, písty apod. Pevnost v tahu R_m u této litiny je minimálně 600 MPa a tvrdost 190 HB až 270 HB [11; 14].

- **42 2308**

Tvárná litina perliticko-sorbitická, tvořená perlitem, sorbitem a zrnitým grafitem se světe šedým lomem. Je vhodná na odlitky s tloušťkou stěny v rozmezí 5 až 35 mm, které mohou být výrazně mechanicky namáhány, a které mají být odolné proti opotřebení. Pevnost v tahu R_m je u této litiny minimálně 800 MPa a tvrdost v rozmezí od 250 HB do 350 HB [11; 14].

2.3 Neželezné kovy používané na ozubená kola

Na ozubená kola se často používají také materiály neželezných kovů, jako je mosaz, bronz, měď a případně slitiny hliníku. Tyto materiály nejsou odolné proti opotřebení, při zatížení se deformují a odírají se. Vhodné jsou převážně pro kinematické převody, to jsou převody, kde se přenáší pohyb s minimálním silovým zatížením. Pro přenos silového zatížení se používají zcela výjimečně. Využití je převážně v přístrojové technice, v jemné mechanice apod. Výhodou je použití například v prostředí agresivním pro oceli, které by zde být použity nemohli. Vzhledem k malé odolnosti proti otěru a větším deformacím při zatížení jsou tyto ozubená kola méně citlivá na výrobní nepřesnosti a lépe se zabíhají [10].

Možné je použití některých mědí, jako například 42 3004 (Cu 99,75), která je tvárná, vhodná pro svařování a je používána jako konstrukční materiál ve strojírenství. Další měď může být 42 3005 (Cu 99,5), která je také používána jako konstrukční materiál ve strojírenství a materiál pro instalátérské součásti [11; 17].

Bronzová ozubená kola mohou být vyráběna například z Bronzu hliníkového 42 3046 (CuAl10Fe3Mn1,5), který je slitinou tvářené mědi, má dobrou odolnost proti korozi, a lze s ním nahradit olověné bronz. Je vhodný na různá pouzdra, ložiska, pastorky apod. Použit může být také Bronz hliníkový 42 3048 (CuAl9Ni5Fe1Mn1), je to speciální kujný bronz pro namáhaná šneková kola, klíny, hřídele čerpadel do solného prostředí, různé armatury apod. Použit může být také Bronz cínový 42 3123 (CuSn12), je to slitina mědi na odlitky, která je vhodná pro všeobecné použití, například pro součásti vystavené tření při malých rychlostech, a při pracovních teplotách až 150 °C, kterými mohou být například věnce ozubených kol, šroubových kol, rozváděcí kola, sedla čerpadel, tlakové maznice, ložisková pouzdra apod. Dále může být také použit Bronz hliníkový 42 3145 (CuAl9Fe3), který je slitinou mědi na odlitky a je vhodný pro součásti namáhané třením a proměnlivým zatížením. Například pro Ozubená kola, vřetenové matice lisů, armatury, ventily, ložiska do kyselého prostředí a různé další součásti do chemického průmyslu [10; 11].

Mosaz používaná pro ozubená kola může být například 42 3222 (CuZn39Pb1), která je slitinou tvářené mědi pro všeobecné použití, například pro součásti přesné mechaniky, jako jsou měřicí přístroje či hodinářský průmysl, nebo pro zápuskové výkovky a armatury. Další možnou použitelnou mosazí je 42 3223 (CuZn40Pb2), je dobře obrobitelná, používaná na součásti strojů, armatury apod. [17].

Čistý hliník se téměř nepoužívá, většinou se jedná o jeho slitiny s jinými kovy. Ze slitin hliníku může být použita například 42 4331 (AlSi10MgMn), tato slitina je dobře svařitelná a je vhodná na tenkostěnné i tvarově složité odlitky. Odolává střídavému napětí při velkém mechanickém namáhání, vhodná je například pro šroubová a ozubená kola, převodové skříně a skříně spalovacích motorů, je také vhodná pro styk s potravinami. Další použitelnou slitinou hliníku je 42 4222 (AlZn6Mg2Cu), je to vysoce pevnostní materiál, používaný pro velmi namáhané součásti a pro speciální techniku [11].

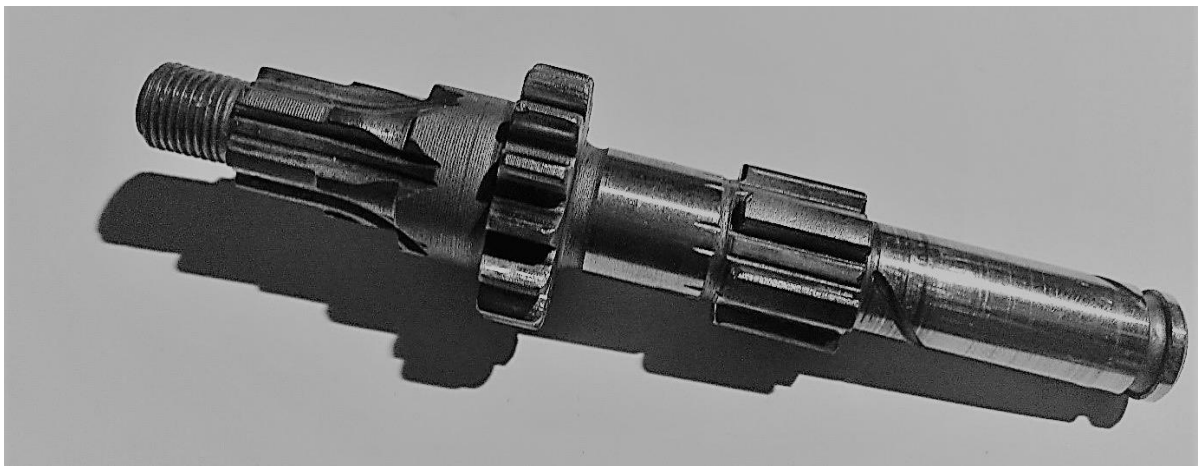
2.4 Plastické hmoty používané na ozubená kola

Ozubená kola z plastů mají relativně nízkou únosnost na tlak i na ohyb, proto jsou vhodná spíše na kinematické převody než na převody silové. Dnes stále častěji ve strojírenské výrobě plastové materiály nahrazují materiály kovové, a to především kvůli ekonomičtější výrobě a mnoha jejich vlastnostem, jako jsou mechanické vlastnosti, chemická odolnost, elektrická nevodivost, hmotnost atd. Plastová ozubená kola dokáží tlumit rázy a tím mají menší hlučnost než ocelová, jsou méně náročná na přesnost výroby a uložení, jelikož se snadno zabíhají. Některé plasty mají dobrou odolnost proti opotřebení, mají dobré kluzné vlastnosti a jsou tzv. samomazné. Existuje mnoho druhů plastů, ze kterých se dají ozubená kola vyrábět, vyrábějí se nejčastěji vstřikováním, což je mnohem levnější u sériové výroby než u obrábění. Pro výrobu lze použít mnoho druhů plastů, jejich vývoj je stále aktivní a na trh přicházejí stále nové a nové plasty vhodné pro tuto aplikaci. Příkladem použitelných plastů mohou být Polyamidy (PA6, PA12, PA46, nebo PA66), Acetalový polymer (POM), Lineární polyester polybutylentereftalát (PBT), Polyfenylensulfid (PPS) a mnoho dalších [18].

3 NÁVRH A ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE

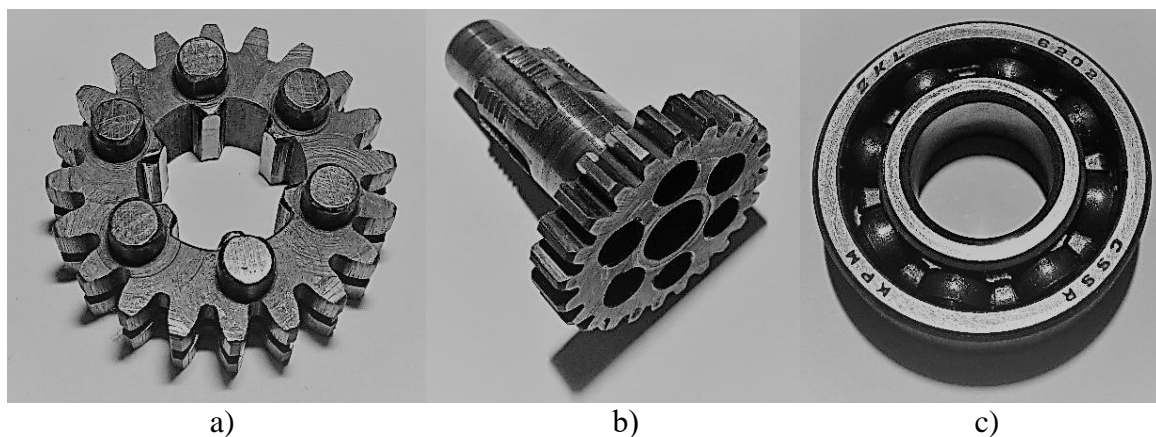
3.1 Výkres součásti

Výkres byl navrhnut a vytvořen podle již vyrobené hřídele (obr. 3.1.) vyjmuté z motoru motocyklu JAWA 23. Hřídel byla obměřena a s použitím pomocné odborné literatury, jako jsou Strojnické tabulky, Strojně technická příručka, nebo kniha Technické kreslení, byl výkres sestaven a okótován. Kompletně vyhotovený výkres je přiložen v Příloze 5.

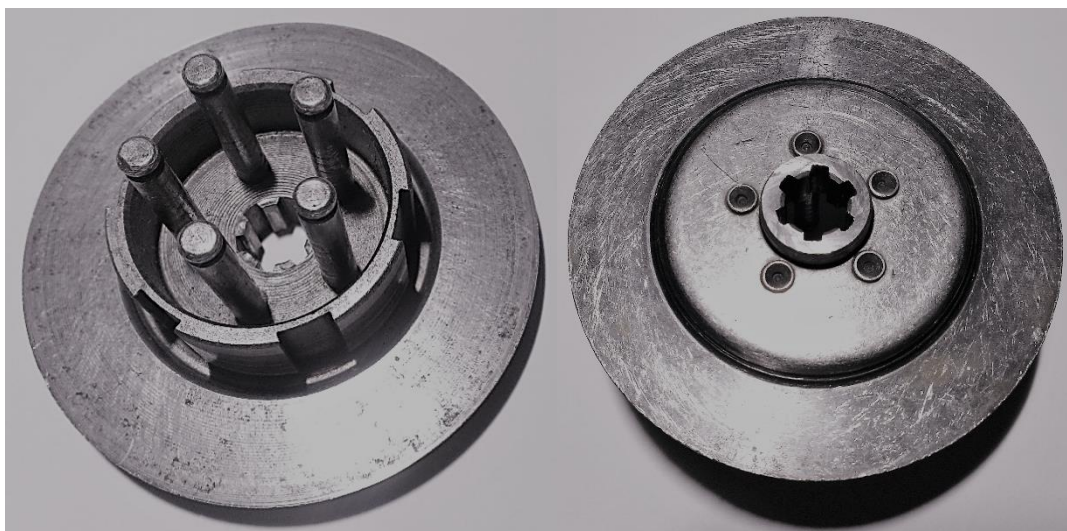


Obr. 3.1 Fotografie hřídele vyjmuté z motoru.

Při tvorbě výkresu byla brána v potaz funkčnost dané hřídele i součástí s ní úzce souvisejících, které jsou zobrazeny na obr. 3.2. a 3.3. Ozubené kolo s 20 zuby a vnitřním drážkováním musí být uloženo s malou vůlí, aby při řazení mohlo být po hřídeli volně posouváno, nebo při zařazeném určitém převodovém stupni se mohlo na hřídeli volně protáčet. Druhé ozubené kolo s nábojem a 23 zuby je uloženo v kuličkovém ložisku 6004/C3 a zároveň tvoří uložení pro danou hřídel prostřednictvím kluzného ložiska uvnitř náboje. Na druhém konci je daná hřídel uložena v kuličkovém ložisku 6202/C3. Obě kuličková ložiska jsou uložena v blocích motoru. Spojkový koš je na hřídeli uložen pomocí rovnobokého drážkování zajišťující přenos otáčivého pohybu. Tento spojkový koš společně s vnitřním kroužkem kuličkového ložiska 6202/C3 je přitažen maticí M10 s jemným závitem k dané hřídeli.



Obr. 3.2 Součásti uložené na hřídeli, a) Ozubené kolo s vnitřním drážkováním 20 z. b) Ozubené kolo s nábojem 23 z. c) Ložisko 6202/C3.



Obr. 3.3 Spojkový koš uložený na hřídeli.

3.2 Technologický postup výroby

Pro přesné, kvalitní a hospodárné vyrobení každé součásti je zapotřebí znát přesný sled operací jdoucích po sobě v daném pořadí. Tyto jednotlivé, přesně seřazené operace, tvoří celkový technologický postup výroby pro danou součást, pro kterou je určen, každá vyráběná součást má svůj technologický postup, určený pro její výrobu na požadovaných, předem zvolených strojích. Pro zhotovení dané hřídele je zapotřebí sestavit postup výroby dle následujících požadavků. Nejprve je potřeba získat vhodný polotovár, ze kterého se bude hřídel vyrábět. Tento polotovar získáme například odříznutím z tyče pomocí pásové pily. Potřebné tyče o vhodném průměru jsou dodávány od dodavatelů materiálu z hutí v délkách několika metrů. Z připraveného polotovaru následuje na soustružnicko-frézovacím CNC obráběcím stroji obrobění základního tvaru s ponecháním určitých přídavků pro potřebné další operace. Následně je na speciálním stroji metodou „Power skiving“ zhotoveno vhodným nástrojem přímé čelní ozubení. Po těchto obráběcích operacích proběhne tepelné zpracování, kterým je v tomto případě kalení laserem, tím získáme povrch daných ploch s určitou tvrdostí. Poslední, dokončující operací, na této součásti je broušení ploch rovnobokého drážkování a válcových ploch. Mezi jednotlivé obráběcí operace je vhodné vkládat operace kontrolní, při kterých se odhalí případné zmetkové části obrobku, které byly chybně obroběny v předchozí operaci. Kompletní technologický postup je uveden v Příloze 1.

3.2.1 Volba polotovaru

Jedním z důležitých kroků při přípravě výroby je zvolení vhodného polotovaru. Může být vybíráno z několika různých typů polotovarů, jako jsou odlitky, výkovky nebo předvalky, které jsou tvarově přibližně hotové součásti, dále to mohou být tyče válcované za tepla nebo tažené za studena. Z tyčí je možné zhotovit přířezy v požadované délce, nebo při použití vhodného příslušenství k obráběcímu stroji, lze několika metrovou tyč použít rovnou pro obrábění, přičemž dělení probíhá v rámci obrábění přímo na stroji (upichování).

Pro řešenou hřídel byl zvolen jako polotovar přířez z tyče válcované za tepla, rozměry byly vypočítány a zvoleny dle následujících výpočtů:

Přídavek na průměr pro polotovár [19]:

$$p = 0,05 \cdot d + 2 \quad (3.1)$$

Kde: d - největší průměr obrobku [mm].

$$p = 0,05 \cdot 28 + 2 = \mathbf{3,4 \text{ mm}}$$

Průměr polotovaru:

$$D_p = d + p \quad (3.2)$$

Kde: d - největší průměr obrobku [mm],

p - přídavek na průměr pro polotovár [mm].

$$D_p = 28 + 3,4 = \mathbf{31,4 \text{ mm}} \quad (3.2)$$

Délka polotovaru:

$$L_p = x + l \quad (3.3)$$

Kde: x - přídavek na délku polotovaru, volí se v rozmezí 2 až 4 [mm] [19],

l - délka součásti [mm].

$$L_p = 3 + 118 = \mathbf{121 \text{ mm}} \quad (3.3)$$

Výsledný polotovár pro obrábění je přířez z tyče $\varnothing 32$ -121 mm dle ČSN EN 10060.

3.2.2 Souhrn technologických operací

Tab. 3.1 Stručný technologický postup.

Číslo operace	Název stroje, pracoviště	Popis práce
00	Pásová pila Proma PPS-170TH	Řezat materiál na délku z tyče.
01	Měřicí pracoviště	Kontrolovat délku polotovaru.
02	CNC soustruh Kovosvit MAS SP 280 SY	Upnout do sklíčidla. Zarovnat čelo, vrtat středící důlek, soustružit průměry nahrubo z jedné strany, dokončit nahrubované průměry, řezat závit, frézovat drážkování. Přepnout do protivřetene do sklíčidla. Zarovnat čelo na délku, vrtat středící důlek, podepřít hrotem, soustružit průměry nahrubo z druhé strany, soustružit zápichy, dokončit nahrubované průměry, frézovat drážkování, frézovat drážku ve šroubovici, vrtat z čela otvor.

03	Měřicí pracoviště	Kontrolovat po soustružení a frézování.
04	Obráběcí centrum Gleason 100PS	Zhotovit přímé čelní ozubení.
05	Robotizovaný laser pro kalení LASCAM	Povrchově kalit laserem.
06	Bruska na drážkové hřídele JUNKER JUMAT 5710	Upnout do sklíčidla s podepřením hrotem. Brousit plochy rovnobokého drážkování.
07	Univerzální bruska Okamoto OGM-250UDXB	Upnout mezi hroty. Brousit jednotlivé průměry.
08	Měřicí pracoviště	Kontrolovat broušené průměry, celková kontrola hotové součásti, kontrolovat povrch součásti.
09	Sklad	Konzervovat a balit.

Pomocí pásové pily se tyče nadělí na jednotlivé polotovary, tyče jsou dodávány od dodavatele zpravidla v délce několika metrů, nejčastěji 6 m. Po nařezání jsou polotovary přepraveny na změření a následně jsou přepraveny na obrobnu k soustruhu.

Na CNC soustruhu je polotovar upnut do sklíčidla v pravém vřetenu a pomocí sestaveného řídicího programu obráběn. Jako první se nožem (T1) používaným pro hrubování zarovná čelní plocha. Následně se stejným hrubovacím nožem provede ohrubování, při pohledu na výkres, pravé části hřídele s následným dokončením nožem (T2) pro dokončování. Závit M10 se zhotoví soustružnickým nožem (T5) na závity a středícím vrtákem (T7) se navrtá středící důlek. Poslední operací z pravé strany je frézováním zhotovení rovnobokého drážkování, pro které se použije speciální kotoučová fréza (T11), kterou se vytvoří hlavní tvar drážkování s ponecháním přídavek na dokončení broušením. Po skončení frézování proběhne automatické přepnutí součásti z prvního vřetene do protějšího (levého). Opět proběhne zarovnání čela nožem (T3) pro hrubování s následným navrtáním středícího důlku středícím vrtákem (T7). Poté je nutné provést podepření součásti hrotem upnutým v pravém vřeteni. Následuje soustružení nahrubo hrubovacím nožem (T3) levé části součásti. Další obráběcí operací je soustružení zápichu na kraji hřídele a hrubování plochy mezi zápichy zapichovacím nožem (T6). Rádiovým nožem (T10) se zhotoví zápich vedle drážkování a poté se provede dokončení nahrubovaných průměrů nožem (T4) pro dokončování, kterým se při dokončování současně zhotoví zápich tvaru G. Po skončení soustružnických operací následuje frézování rovnobokého drážkování stejně jako u prvního drážkování speciální kotoučovou frézou (T12) s ponecháním přídavek na broušení. Následně se rádiovým nožem (T10) zhotoví drážka ve tvaru šroubovice jako závit s velkým stoupáním. Odstraní se podepření hrotem a vrtákem (T8) se vyvrtá část otvoru v ose součásti, poté se vrtákem (T9) provede dokončení průchozího otvoru celou součástí.

Na speciálním stroji pro výrobu ozubení metodou „odvalovacího ševingování“ (Power skiving) se zhotoví přímé čelní ozubení speciálním frézovacím nástrojem (T13).

Další operací je povrchové kalení, které se provádí na robotizovaném pracovišti se speciálním vysoce výkonným diodovým laserem. Jednotlivé zuby čelního ozubení, plochy drážkování a válcové plochy jsou tímto paprskem povrchově kaleny, zbytek součásti je tepelně neovlivněn.

Na brusce pro broušení drážkových hřídelí jsou broušeny požadované plochy (malé průměry a boky zubů) obou velikostí rovnobokého drážkování.

Na hrotové brusce při upnutí součásti mezi hroty jsou broušeny jednotlivé válcové průměry speciálním brusným kotoučem (T14) s vrstvou brusiva po obvodu ocelového těla kotouče.

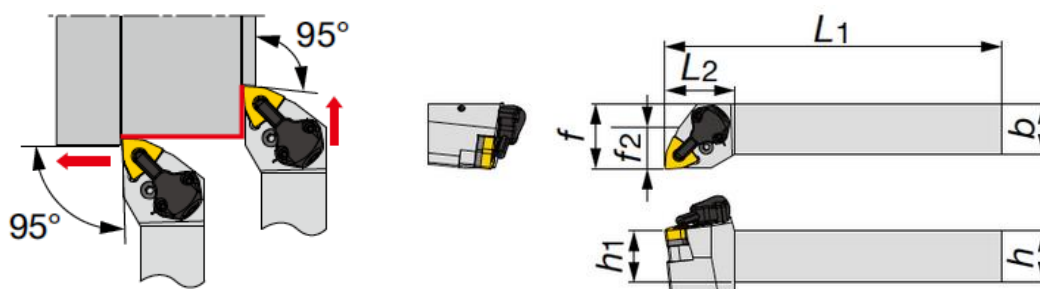
3.3 Použité nástroje

Nástroje použité pro obrábění dané hřídele jsou voleny dle aktuální nejnovější nabídky významných dodavatelů. Důležitým faktorem při volbě jednotlivých nástrojů byly řezné podmínky a výkonové možnosti stroje, pro který je daný nástroj určen. Kompletní seznam nástrojů je uveden v Příloze 2.

3.3.1 Soustružnické nože

Hrubovací nůž

Pro hrubování byl zvolen soustružnický nůž s VBD ze slinutého karbidu ve tvaru „trigon“. Tento nůž je použit v provedení levém i pravém pro soustružení hřídele z obou stran, vyměnitelná břitová destička je u obou provedení stejná.




Obr. 3.4 Hrubovací nůž pravý [20].

Tab. 3.2 Tělo hrubovacího nože [20].

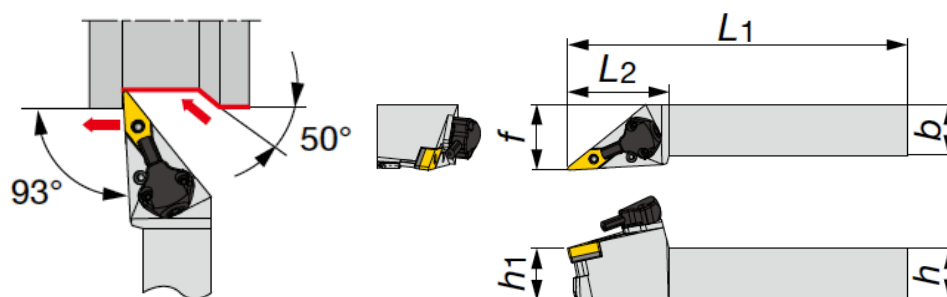
Označení	h [mm]	b [mm]	L ₁ [mm]	L ₂ [mm]	h ₁ [mm]	f [mm]	VBD
PWLNR 2525M0604-CHP	25	25	150	34	25	32	WN...0604...

Tab. 3.3 Břitová destička hrubovacího nože [20].

	Označení	a _p [mm]	f [mm]	r _ε [mm]	v _c [m.min ⁻¹]	Povlak
	WNMG060408-TM	1.0 až 5.0	0,2 až 0,5	0,8	80-180	TiCN+Al ₂ O ₃

Dokončovací nůž

Pro dokončující operace byl zvolen nůž s VBD ze slinutého karbidu ve tvaru úzkého kosodélníku s úhlem špičky 35°. Tento nůž je použit v provedení levém i pravém pro soustružení hřídele z obou stran, pro obě provedení je použita stejná VBD.




Obr. 3.5 Dokončovací nůž pravý [20].

Tab. 3.4 Tělo dokončovacího nože [20].

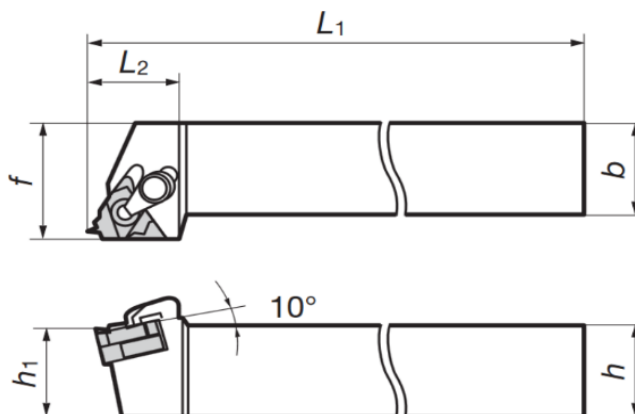
Označení	h [mm]	b [mm]	L ₁ [mm]	L ₂ [mm]	h ₁ [mm]	f [mm]	VBD
PVJNR 2525M16-CHP	25	25	150	50	25	32	V/YN...1604...

Tab. 3.5 Břitová destička dokončovacího nože [20].

	Označení	a _p [mm]	f [mm]	r _ε [mm]	v _c [m.min ⁻¹]	Povlak
	VNMG160404-TSF	0,2 až 1,5	0,08 až 0,2	0,4	100 až 300	TiCN+Al ₂ O ₃

Závitový nůž

Pro zhotovení vnějšího závitu M10 byl zvolen soustružnický nůž s VBD ze slinutého karbidu s odpovídajícím profilem požadovaného metrického závitu.

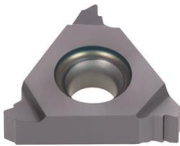


Obr. 3.6 Závitový nůž pravý [20].

Tab. 3.6 Tělo závitového nože [20].

Označení	h [mm]	b [mm]	L ₁ [mm]	L ₂ [mm]	h ₁ [mm]	f [mm]	VBD
CER 2525M16DT	25	25	150	28	25	32	16ER.....

Tab. 3.7 Břitová destička závitového nože [20].

	Označení	Stoupání [mm]	Směr	v_c [m.min ⁻¹]	Povlak
	16ER10ISO	1,0	R	60 až 160	(Ti,Al)N

Zapichovací nůž

Pro obrobení zápichů byl zvolen nůž s VBD odolný vůči odporu ve směru radiálním i axiálním pro možnost obrábění posuvem i do stran díky konvexnímu sevření VBD. Tělo nože je vyrobeno z vysoce pevné oceli [21].




Obr. 3.7 Zapichovací nůž levý [21].

Tab. 3.8 Tělo zapichovacího nože [21].

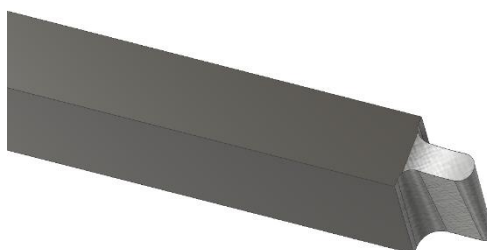
Označení (obj. číslo)	Hloubka zápichu	Šířka zápichu	Stopka	VBD
25/2 mm (27 3751)	Max. 6 mm	2 mm	25x25 mm	2 mm (27 3718)

Tab. 3.9 Břitová destička zapichovacího nože [21].

	Označení	a_p [mm]	f [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	Povlak
	2 mm (27 3718)	0,2 až 1,1	0,04 až 0,14	130 až 150	Al ₂ O ₃ + Ti(C,N)

Rádiusový nůž

Pro zhotovení mazací drážky byl zvolen nůž vybroušený do požadovaného tvaru rádiusu R1, který bude vyhotoven z polotovaru tvaru hranolu. Materiál tohoto nože je vysoce výkonná řezná ocel ze slitiny kobaltu (Radeco) [22].



Obr. 3.8 Vybroušený rádiusový nůž.

Tab. 3.10 Rádusový nůž [16; 22].

Rozměry polotovaru	Délka řezné části	Šířka řezné části	Rádus špičky	Řezný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	f [mm]
5x10x200 mm	3,5 mm	2 mm	1 mm	HSS-Co	8 až 15	0,8 až 1,6

3.3.2 Vrtáky

Středicí vrták

Pro zhotovení středících důlků potřebných pro navedení vrtáku a pro upnutí pomocí hrotů byl zvolen středicí vrták tvaru „A“. Vrták je vybroušen z plného materiálu a opatřen spirálovou drážkou pro odvod třísek. Při výrobě budou použity dva kusy tohoto středícího vrtáku pro navrtání hřídele z levé i z pravé strany [21].



Obr.3.9. Středící vrták [21].

Tab. 3.11 Středící vrták [21].

Průměr stopky	Jmenovitý průměr	Celková délka	Úhel zahloubení	Řezný materiál	Povlak	v_c [m.min ⁻¹]	f [mm]
8 mm	3,15 mm	50 mm	60°	HSS/E	TiAlN	10 až 25	0,02

Vrták ze slinutého karbidu 6xD

Pro vyvrtání první části (pilotního otvoru) průchozí díry ve hřídeli byl zvolen vrták z SK, vrták má silné jádro se speciálně vybroušenou špičkou a se čtyřmi vnitřními kanálky pro přívod procesní kapaliny. Vrták má vysokou přesnost středění a vedení díky čtyřem vodícím fazetkám a je uzpůsoben pro tvorbu pilotních otvorů použitou tolerancí břitů p6 [21].



Obr. 3.10 Vrták ze slinutého karbidu 6xD [21].

Tab. 3.12 Vrták ze slinutého karbidu 6xD [21].

Průměr stopky	Jmenovitý průměr	Celková délka	Délka šroubovice	Vrcholový úhel	Řezný materiál	Povlak	v_c [m.min ⁻¹]	f [mm]
6 mm	5,5 mm	82 mm	44 mm	140°	SK	TiAlN	110 až 120	0,21

Vrták ze slinutého karbidu 20xD

Vzhledem k délce průchozího vrtaného otvoru byl zvolen pro vrtání hlubokého otvoru vrták z SK s vnitřním chlazením se čtyřmi vnitřními chladicími kanály a vodícími fazetkami. Tolerance břitů u vrtáku je h7, což zajišťuje vysokou přesnost s kulatost hlubokého otvoru. Pro bezpečné vrtání je nutné zhotovit pilotní otvor do hloubky 6xD [21].



Obr. 3.11 Vrták ze slinutého karbidu 20xD [21].

Tab. 3.13 Vrták ze slinutého karbidu 20xD [21].

Průměr stopky	Jmenovitý průměr	Celková délka	Délka šroubovice	Vrcholový úhel	Řezný materiál	Povlak	v_c [m.min ⁻¹]	f [mm]
6 mm	5,5 mm	185 mm	140 mm	135°	SK	TiAlN	90	0,12

3.3.3 FrézyKotoučová fréza

Frézování rovnobokého drážkování bude prováděno kotoučovou tvarovou frézou zhotovenou přímo pro daný rozměr rovnobokého drážkování. Pro zhotovení obou drážkování na hřídeli budou potřeba dvě rozměrově různé frézy. Fréza je vyrobena z klasické rychlořezné oceli HSS s PVD povlakem nitridem titanu [23].



Obr. 3.12 Kotoučová tvarová fréza na rovnoboké drážkování.

Tab. 3.14 Kotoučové frézy na rovnoboké drážkování [23].

Rozměr drážkování	Velký průměr	Průměr díry	Šířka frézy	Počet zubů	Řezný materiál	Povlak
6x11x14x3	50 mm	20 mm	6	8	HSS/E	TiN
6x14x18x4	50 mm	20 mm	8	8	HSS/E	TiN

Doporučené řezné podmínky pro tento druh fréz: řezná rychlost pro legovanou ocel je v rozmezí od 15 do 20 m.min⁻¹ a posuv na zub 0,03 až 0,05 mm. Pro danou frézu by otáčky měly být voleny v rozmezí 95 až 127 min⁻¹ a posuv od 23 do 50 mm.min⁻¹ [16].

Fréza na ozubení

Pro zhotovení ozubení bude na speciálním stroji pro „Power skiving“ použita speciální fréza určená pro tuto technologii obrábění ozubení, která je v podstatě kombinací odvalovacího frézování a obrážení. Fréza je monolitní karbidová určená pro daný modul ozubení [24].



Obr. 3.13 Stopková fréza pro „Power skiving“ [24].

Tab. 3.15 Stopková fréza pro Power skiving [24].

Označení	Typ	Modul	Použití	Řezný materiál	Povlak
CoroMill 178S	Monolitní stopková	1,75	Ozubení	SK	TiCN

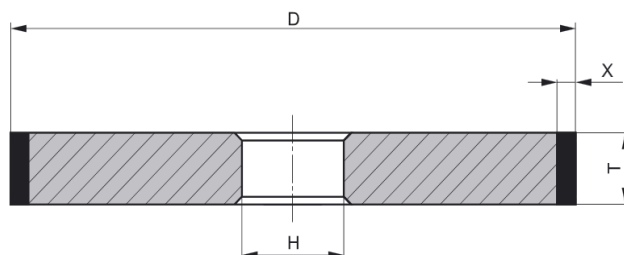
3.3.4 Brousicí kotouč

Brousicí kotouč

Z důvodu broušení válcové plochy mezi dvěma většími průměry je vyžadován úzký brousicí kotouč. Zvolen byl kotouč s ocelovým tělem a s brousicí vrstvou několika milimetrů po obvodu kotouče. Brousicí vrstvu tvoří brusný materiál, kterým u tohoto kotouče je Kubický nitrid boru a pojivo je pryskyřičné. Výhodou takovýchto kotoučů je vysoký výkon broušení, stálost tvaru kotouče a zlepšení hospodaření s odpady [25].



Obr. 3.14 Brousicí kotouč [25].



Obr.3.15. Schéma kotouče [25].

Tab. 3.16 Brousicí kotouč [25].

Označení	D [mm]	T [mm]	X [mm]	H [mm]	Druh pojiva	Druh Brusiva
FEPA 1A1	300	12	3	127	Pryskyřičné	KNB
Obvodová rychlost kotouče [m.s^{-1}]		Obvodová rychlost obrobku [m.min^{-1}]		Hloubka třísky [mm]	Podélná rychlost obrobku [m.min^{-1}]	
15 až 50		40		0,003 až 0,02	3	

3.4 Použité stroje

3.4.1 Pásová pila PROMA PPS-170TH

Je pásová pila na kov určena pro řezání ocelí i vysoce pevnostních, neželezných kovů a mnoho dalších běžně používaných materiálů. Výhodou této konstrukce je dobrá tuhost při zachování relativně malých rozměrů. Využitím chladicího systému se dosahuje vysokého řezného výkonu. Otočným svérákem je možno nastavit potřebný úhel pro řezání [26].



Obr. 3.16 Pásová pila PROMA PPS-170TH [26].

Tab. 3.17 Parametry pásové pily [26].

Technické parametry – PPS-170TH	
Příkon	650 W
Napětí	400 V
Řezná rychlost	40/80 m.min ⁻¹
Max. řezaný průměr	(90°) 170, (45°) 130, (60°) 70 mm
Max. řezaný materiál (š x v) při 90°	170 x 210 mm
Max. řezaný materiál (š x v) při 60°	60 x 60 mm
Max. řezaný materiál (š x v) při 45°	110 x 110 mm
Rozměr pásu	2 110 x 20 x 0,9 mm
Řezání pod úhlem	90°, 60°, 45°
Chlazení	ano
Hmotnost	156.0 kg
Šířka/Výška/Hloubka	57/83/116 cm

3.4.2 CNC Soustružnické centrum Kovosvit MAS SP 280 SY

Soustružnická centra ze série SP 280 je možné vybavit jedním ze tří hlavních řídicích systémů Siemens, Heidenhain nebo Fanuc, které garantují výborné regulační vlastnosti a možnost vhodného programování pro uživatele. Stroje lze programovat externě, ale i pomocí integrovaného dílenského programování. Robustní základ dodává strojům vysokou tuhost a přesnost při obrábění. Suporty lineárních os a pravý vřeteník pojíždí po valivém vedení, které dodává strojům vysokou přesnost. Vřetenové jednotky se synchronními vestavěnými motory umožňují velký obráběcí výkon a poskytují vysokou dynamiku funkcí vřeten a jejich polohování [27].

Zvolený stroj je vybaven řídicím systémem Sinumerik 840D od firmy Siemens. Stroj má možnost tříosého obrábění (X, Y, Z), třetí osa je složena interpolací os X₁ a Y, které svírají úhel 30°. Dále je stroj vybaven protivřetenem a revolverovou hlavou s dvanácti polohami, více informací o stroji v Příloze 3 [27].



Obr. 3.17 Soustruh SP 280 SY Kovosvit MAS [27].

Tab. 3.18 Parametry soustružnického stroje [27].

Technické parametry – SP 280 SY	
Pracovní prostor	
Oběžný průměr nad ložem	570 mm
Max. délka soustružení	490 mm
Max. průměr soustružení	280 mm
Max. průchod tyče elektrovřetenem	Ø61 mm
Pojezdy os	
Osy X, Z, Y	194 / 640 / ±50 mm
Pravý vřeteník Zs	725 mm
Rychloposuv os X, Z	30 / 30 m.min ⁻¹
Vřetena	
Hlavní vřeteno – max. otáčky	4 700 min ⁻¹
Protivřeteno – max. otáčky	6 000 min ⁻¹
Nástrojová hlava	
Počet poloh	12
Max. otáčky nástrojového vřetena	4 000 min ⁻¹
Výkon stroje	
Motor hlavního vřetena	
Výkon S1/S6 – 40 %	20,9 / 27 kW
Max. krouticí moment S1/S6 – 40 %	200 / 257 Nm
Motor protivřetena	
Výkon S1/S6 – 40 %	7,5 / 9 kW
Max. krouticí moment S1/S6 – 40 %	48 / 57 Nm
Motor nástrojového vřetena	
Výkon S3 – 60 %	8 kW
Max. krouticí moment S3 – 60 %	40 Nm
Rozměry stroje	
Délka / šířka / výška	3 875 / 2 122 / 2 345 mm
Hmotnost	7 900 kg



Obr. 3.18 VDI držák pro vícenásobné osazení [28].

Vzhledem k většímu počtu potřebných nástrojů pro výrobu, více než 12, jsou dva soustružnické nože upnuty pomocí tohoto upínače do revolverové hlavy na jednu pozici. Upnutý takto je jeden levý nůž a jeden pravý nůž.

3.4.3 Stroj na ozubení GLEASON 100PS

Speciální stroj navržený pro obrábění ozubení metodou Power skiving a je určen pro obrábění malých až středně velkých obrobků s velikostí modulu do 2,0 mm. Díky této metodě „odvalovacího ševingování“ (Power Skiving) je možné obrábět vnější i vnitřní ozubení a drážkování kvalitně a více než 8x rychleji oproti klasickému obrázení nebo odvalovacímu frézování. Použití této metody je také efektivní při obrábění za sucha, tím snížíme náklady na procesní kapalinu a obrábění bude tak šetrnější k životnímu prostředí [29; 30].



Obr. 3.19 GLEASON 100PS Power Skiving [29].

3.4.4 Laser pro kalení LASCAM HighLight D-Series

Vysoce výkonný průmyslový laser s velkým rozsahem různých tvarů výstupů paprsku. Tento druh laserů je ideální zdroj paprsku pro povrchové kalení, navařování a svařování. Vynikají vysokou rychlostí zpracování a kvalitou opracovaných ploch díky vyššímu výkonu a širšímu paprsku, který umožňuje, aby větší plochy byly zpracovávány na jeden průchod. Díky robotizovanému ramenu nesoucí toto laserové zařízení je možné zpracovávat libovolné tvary součástí rychle a kvalitně do hloubky až několika milimetrů [31; 32].



Obr. 3.20 Robotizovaný laser [32].

Tab. 3.18 Parametry laseru [31].

Technické parametry – HighLight D-Series	
Výkon	4,8 až 10 kW
Šířka paprsku	4 až 36 mm
Vlnová délka	975 nm
Pracovní vzdálenost	až 275 mm

3.4.5 Bruska na drážkové hřídele Junker JUMAT 5710

Speciální bruska pro broušení drážek drážkových hřídelů, broušení je realizováno malým brusným kotoučem. Na brusce lze brousit přímé i spirálové drážky. Upnutí součástí je pomocí sklíčidla a opěrného hrotu, upínací zařízení je vybaveno vhodným polohovacím zařízením [33].



Obr. 3.21 Bruska na drážkové hřídele Junker JUMAT 5710 [33].

Tab.3.19. Parametry brusky na drážkové hřídele [33].

Technické parametry – JUMAT 5710	
Brousicí průměr	max. 32 mm
Broušená délka	max. 350 mm
Maximální otáčky	30 000 min ⁻¹
Příkon	7,5 kW
Průměr brousicího nástroje	od 33 do 39 mm
Ovládací systém	FANUC 15 B

3.4.6 Hrotová bruska Okamoto OGM-250UDXB

Univerzální nástrojařská bruska určená pro broušení válcových ploch vnějších i vnitřních. Bruska je vybavena univerzální otočnou hlavou a servomotorem pro posuv stolu. Pro broušení vnitřních válcových ploch má bruska sklápěcí rameno s vřeteníkem o maximálních otáčkách 25 000 min⁻¹. Na brusce je možné nastavit plně automatický cyklus broušení s hrubým a jemným broušením a s vyjiskřením. Součástí brusky je i digitální odměřování polohy [34].



Obr. 3.22 Univerzální bruska Okamoto OGM-250UDXB [34].

Tab. 3.19 Parametry brusky na válcové plochy [34].

Technické parametry – OGM-250UDXB	
Pracovní prostor	
Oběžný průměr	220 mm
Max. vzdálenost mezi hroty	500 mm
Max. broušený průměr	200 mm
Max. hmotnost obrobku mezi hroty	25 kg
Brousicí vřeteník	
Pojezd v podélném směru – osa X	200 mm
Úhel natočení	$\pm 30^\circ$
Min. přírůstek	0,001 mm
Rychloposuv	1 m.min ⁻¹
Otáčky	2087/2357 min ⁻¹
Brousicí kotouč	
Rozměr (průměr, šířka, otvor)	305x25x127 mm
Stůl	
Rozjezd v příčném směru – osa Z	650 mm
Úhel natočení	4 až -9°
Rychloposuv	0,05 až 4 m.min ⁻¹
Pracovní vřeteník	
Otáčky vřetene	150/250/400 min ⁻¹
Úhel natočení	30 až -90°
Výkon	
Brousicí vřeteno	1,5 kW
Pracovní vřeteník	0,2 kW
Posuvy	0,4 kW
Rozměry stroje	
Šířka / hloubka / výška	2 880 / 1 851 / 1 640 mm
Hmotnost	1 700 kg

4 VYTVOŘENÍ NC PROGRAMU OBRÁBĚNÉ SOUČÁSTI

NC program je soubor informací uspořádaných v určité posloupnosti, kterými je pomocí počítače řízen obráběcí stroj. Soubor informací obsahuje jednotlivé geometrické, technologické a jiné pomocné parametry a příkazy. Geometrickými informacemi je určena dráha nástroje, technologickými informacemi jsou určeny řezné podmínky a rychlosti pohybů nástroje. Pomocnými parametry je řízen celkový průběh programu, například spuštění otáček vřetene, zapnutí chlazení, různé korekce apod. [35].

Program pro obrobení hřídele pro motocykl JAWA byl vytvořen podle výkresové dokumentace a sestaveného technologického postupu. Vytvářen byl pomocí software SinuTrain 4.7, který je podpůrným programem pro řídicí systém Sinumerik 840D. K sestavení řídicího programu bylo využito ISO programování, které využívá zápis pomocí tzv. G-kódu, a pomocných cyklů daného řídicího systému Sinumerik 840D. V software SinuTrain byla vytvořena přednastavená konfigurace soustružnického stroje s poháněnými nástroji, protivřetenem a s osou Y, takto nakonfigurovaný virtuální stroj slouží pro simulaci obrábění. Kompletní sestavený CNC program je přiložen v Příloze 4.

4.1 Přehled několika základních použitých funkcí a příkazů

G-funkce (přípravné funkce, geometrické) [35]:

- G00** - Lineární interpolace maximálním posuvem (rychl. posuv).
- G01** - Lineární interpolace pracovním posuvem (pohyb po přímce posuvem F).
- G04** - Časová prodleva v sekundách (F), nebo v otáčkách (S).
- G18** - Volba pracovní roviny X/Z.
- G54** - až **G57** Absolutní posunutí nulového bodu.
- G90** - Absolutní programování.
- G94** - Posuv v milimetrech za minutu [min^{-1}].
- G95** - Posuv v milimetrech za jednu otáčku [mm].
- G96** - Zapnutí konstantní řezné rychlosti, $v_c = \text{konst.}$

M-funkce (pomocné funkce) [35]:

- M0** - Programové zastavení, STOP, stroj čeká na opětovné spuštění.
- M3** - Spuštění otáček vřetena ve smyslu hodinových ručiček.
- M4** - Spuštění otáček vřetena proti směru hodinových ručiček.
- M5** - Zastavení otáček vřetena.
- M8** - Zapnutí chlazení.
- M9** - Vypnutí chlazení.
- M10** - Upnout obrobek do sklíčidla/kleštiny levého vřetena.
- M11** - Uvolnit sklíčidlo/kleštinu levého vřetena.
- M17** - Konec podprogramu.
- M20** - Upnout obrobek do sklíčidla/kleštiny pravého vřetena.
- M21** - Uvolnit sklíčidlo/kleštinu pravého vřetena.
- M30** - Konec programu.
- M71** - Ofukování zapnuto.
- M72** - Ofukování vypnuto.

Zkratky příkazů [36]:

- COUPDEF** - Definice/editace specifické uživatelské vazby.
- COUPOF** - Deaktivování vazby.

COUPON	- Aktivování vazby, vlečné vřeteno se synchronizuje podle řídicího.
DIAMON	- Průměrové programování pro G90/G91
LIMS	- Omezení počtu otáček.
MSG	- Zobrazit text na obrazovce.
SETMS	- Nastavení hlavního vřetena.
SPCON	- Řídicí vřeteno v režimu polohové regulace.
SPOS	- Polohování vřetena s řízenou polohou.

4.2 Sestavení NC programu

NC programy jsou sestaveny z bloků do kterých se zapisují jednotlivé příkazy a každý tento blok (věta) charakterizuje jeden krok v opracovávání součásti. Tyto programy řídicího systému Sinumerik, respektive jejich struktura vychází z normy DIN 66025 [37].

4.2.1 Zadání parametrů nástrojů

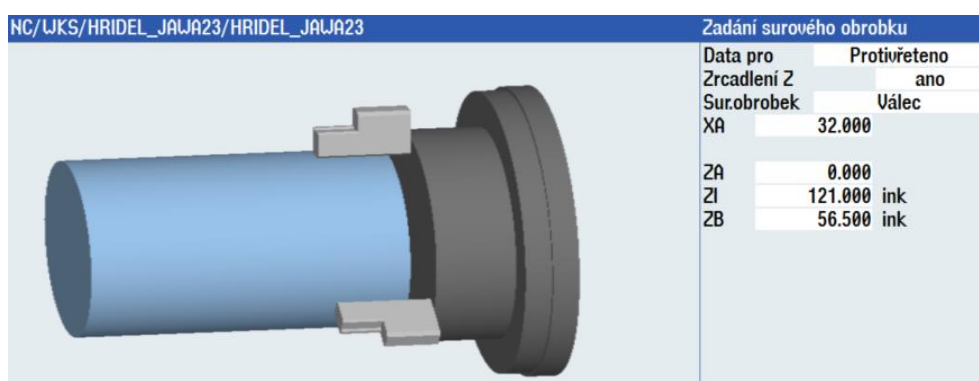
Předtím, než se začne vytvářet program je nutné nadefinovat jednotlivé nástroje. Tyto nástroje nadefinujeme do seznamu nástrojů (obr. 4.1) v databázi stroje. Při vytváření nástroje se volí typ nástroje, tvar břitů, jeho velikost a další doplňující informace. Především tvar a velikost řezné části daného nástroje jsou důležité pro programování obrábění.

Seznam nástrojů													
Místo	Typ	Název nástroje	ST	D	Délka X	Délka Z	Rádus					1	2
1		HRUBOVACÍ NŮŽ_P	1	1	50.000	32.000	0.800	→	95.0	80	6.5		
2		DOKONČOVACÍ NŮŽ_P	1	1	50.000	32.000	0.400	→	93.0	35	16.6		
3		HRUBOVACÍ NŮŽ_L	1	1	50.000	32.000	0.800	←	95.0	80	6.5		
4		DOKONČOVACÍ NŮŽ_L	1	1	50.000	32.000	0.400	←	93.0	35	11.6		
5		ZÁVITOVÝ NŮŽ_1	1	1	50.000	32.000	0.000				16.0		
6		ZAPICHOVACÍ NŮŽ 2	1	1	50.000	26.500	0.200		2.000		6.0		
7		STŘEDICÍ VRTÁK A3,15_I	1	1	0.000	25.000	8.000		60.0				
8		STŘEDICÍ VRTÁK A3,15_I	1	1	0.000	25.000	8.000		60.0				
9		VRTÁK TK 6D	1	1	0.000	44.000	5.500		140.0				
10		VRTÁK TK 20D	1	1	0.000	140.000	5.500		135.0				
11		KOTOUČOVÁ_FŘEZA 1	1	1	0.000	0.000	50.000	8	6.000				
12		ZAPICHOVACÍ NŮŽ R2	1	1	50.000	26.500	1.000		2.000		6.0		
13		KOTOUČOVÁ_FŘEZA 2	1	1	0.000	0.000	50.000	8	8.000				

Obr. 4.1 Seznam nástrojů.

2.2 Vytvoření polotovaru

Na začátku programování je nutné zvolit druh a velikost polotovaru, jeho umístění do požadovaného vřetene a poloha ve zvoleném upínacím zařízení, v tomto případě do tříčelistového sklíčidla viz obr. 4.2.

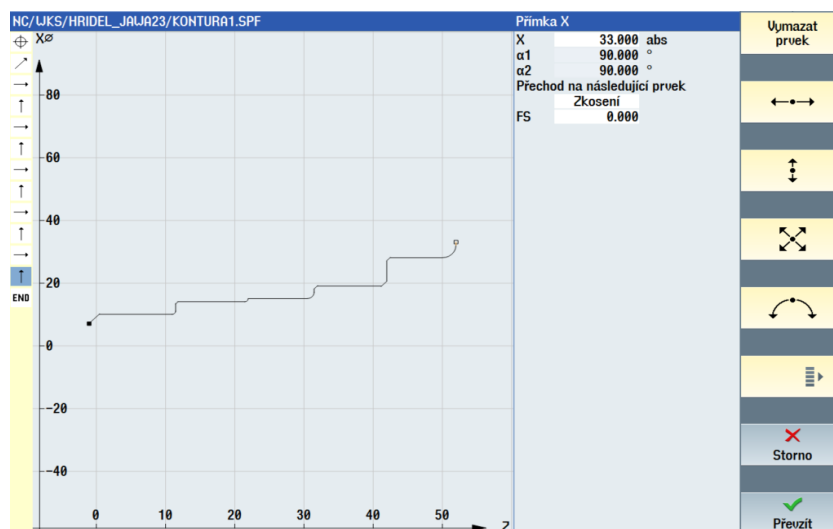


Obr. 4.2 Volba polotovaru.

Na výběr je ze čtyř základních tvarů (válec, trubka, n-úhelník, kvádr). Parametrem **XA** definujeme velikost polotovaru v ose X, parametrem **ZI** definujeme délku polotovaru v ose Z a parametrem **ZB** definujeme vysunutí polotovaru ze sklíčidla.

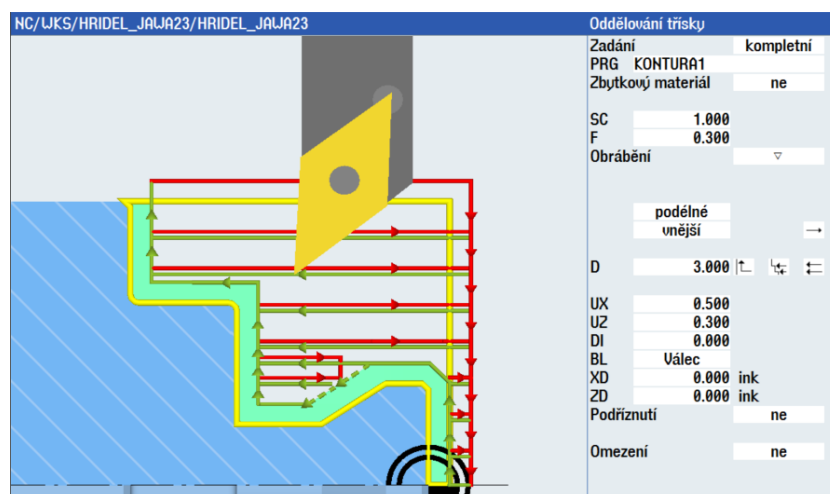
4.2.3 Obrobení kontury

Výsledný tvar součásti je nakreslen do podprogramu definováním kontury (obrysu součásti), která tvoří hranici pohybu nástroje. Vytvoření kontury je pomocí prvků, viz pravý okraj obr. 4.3, kterými je postupně tvořena výsledná křivka zadáváním požadovaných hodnot.



Obr. 4.3 Kontura pravé části hřídele.

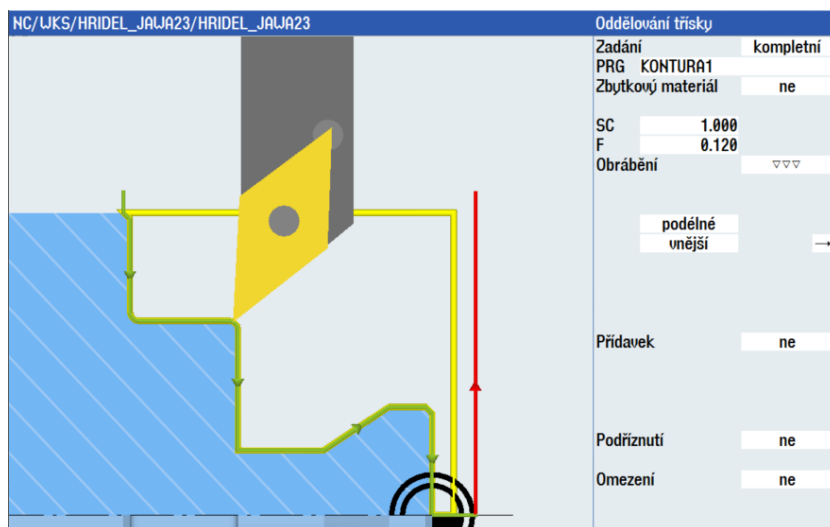
Takto nadefinovaná kontrura v podprogramu je pomocí cyklu (CYCLE62 - volání kontury) v hlavním programu vyvolána a následujícím cyklem (CYCLE952 - oddělování třísky) obráběna dle zadaných parametrů viz obr. 4.4. Tento cyklus je určen pro hrubování i pro dokončování vnější a vnitřní kontury. Při nastavování se nejprve zvolí název kontury, která má být obráběna, následně se nastaví bezpečná vzdálenost **SC**, velikost posuvu **F** a zda obrábění má být podélné, příčné, nebo paralelně s konturou. Poté se definuje maximální hloubka třísky **D**, přídavek ve směru osy X **UX**, přídavek ve směru osy Z **UZ**, jaký má být průchod nástroje **DI**, přídavky na polotovaru v jednotlivých osách **XD** a **ZD**, poté zda umožníme nástroji podříznutí, nebo nikoli a nakonec můžeme nastavit omezení pohybu nástroje nad polotovarem.



Obr. 4.4 Oddělování třísky – hrubování pravé části hřídele.

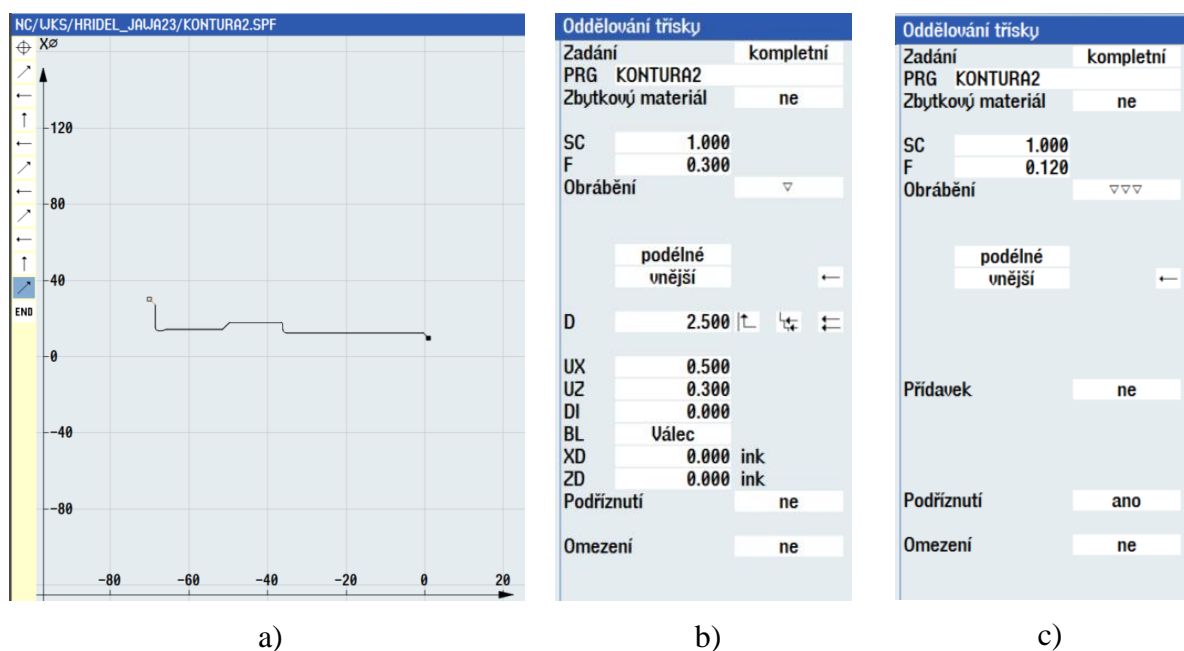
Po ohrubování je kontura obráběna na čisto s použitím stejného cyklu pro oddělování třísky jako u předchozího hrubování. V cyklu se pouze přenastaví způsob obrábění na dokončovací a dále se nastaví požadovaná hodnota posuvu **F**, směr obrábění (podélný, příčný, nebo paralelně

s konturou). Dále, zda jde o obrábění vnější, nebo vnitřní, zda je požadovaný nějaký přídavek a poté stejně jako u hrubování, zda umožníme nástroji podříznutí, nebo nikoli a nakonec můžeme nastavit omezení pohybu nástroje nad polotovarem.



Obr. 4.5 Oddělování třísky – dokončování pravé části hřídele.

Nastavení pro obrobení kontury levé strany je obdobné jako v případě pravé kontury. Tvar kontury je zobrazen na obr. 4.5 a), vyplněná tabulka pro cyklus obrábění nahrubo na obr. 4.5 b) a pro dokončování na obrázku 4.5 c).

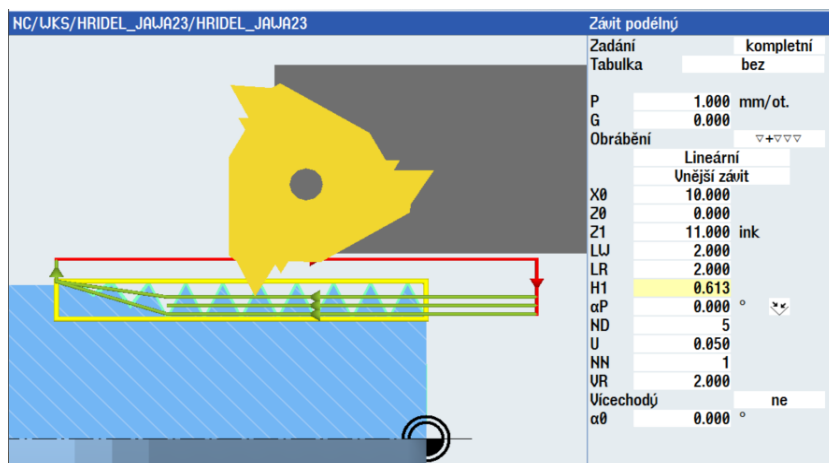


Obr. 4.5 Levá část hřídele, a) Kontura, b) Hrubování, c) Dokončování.

4.2.4 Obrobení závitu

Pro obrobení závitu je využito cyklu na obrábění závitů (CYCLE99 – závit podélný), v němž jsou definovány jednotlivé parametry viz. obr. 4.6. Při nastavování lze zvolit tabulku, ve které jsou závity základní řady přednastavené, nebo zvolit možnost bez tabulky a jednotlivé parametry závitu zadat ručně. Vzhledem k tomu, že vyráběný závit je s jemným stoupáním a předdefinovaná tabulka ho nenabízí, jsou jednotlivé parametry nastaveny ručně. Hodnota **P** znamená stoupání závitu v mm., **G** je změna stoupání závitu na otáčku, dále je nastaveno hrubování s následným dokončením. Hodnotu přísuvu lze nastavit buď konstantní, nebo

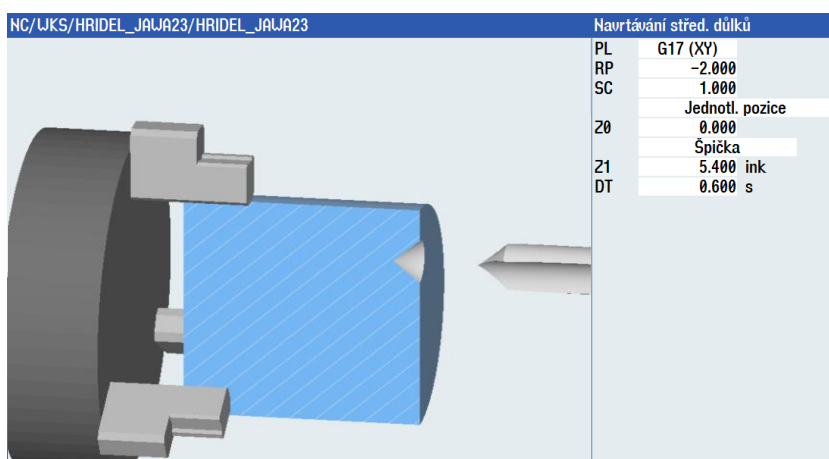
degresivní (postupně se zmenšující). Poté se nastaví pozice závitu a jeho rozměry, **X0** je jmenovitá hodnota závitu (výchozí bod v ose X), **Z0** je výchozí pozice v ose Z, délka závitu je označena parametrem **Z1**, hodnota **LW** je velikost náběhu závitu, hodnota **LR** je velikost výběhu závitu, parametr **H1** udává hloubku závitu, **αP** značí úhel přísluvu, **ND** je počet hrubovacích průchodů, **U** je přírůstek pro obrábění na čisto, **NN** je počet průchodů bez záběru a **VR** značí vzdálenost nad závitem pro zpětný posuv nože.



Obr. 4.6 Soustružení podélného závitu.

4.2.5 Navrtání středícího důlku

Navrtávací cyklus (CYCLE81 – navrtávání středících důlků) lze použít pro navrtávání důlků pro navedení vrtáku, ale i pro zhotovení důlků pro upínací hroty. Při nastavování navrtávání (obr. 4.8) se nejprve zvolí rovina, ve které se bude vrtat, zda to bude z čela, nebo z obvodu. Rovněž je nutné nastavit, jestli je vrtáno na jedné pozici (pozice je udána souřadnicemi, ve kterých se nachází nástroj před spuštěním cyklu), nebo má cyklus vycházet z nastaveného polohového vzoru. Parametrem **RP** se určí návratová rovina, **SC** značí bezpečnou vzdálenost pro příjezd rychloposuvem, **Z0** počáteční souřadnici, **Z1** hloubku vrtání při vrtání na požadovanou hloubku a **DT** časovou prodlevu v konečné hloubce. Pokud zvolíme vrtání na požadovaný průměr, parametr **Z1** se změní na průměr, kterého má být dosaženo v počáteční rovině.



Obr. 4.8 Navrtávání středícího důlku.

4.2.6 Frézování drážkování

Pro naprogramování frézování rovnobokého drážkování je využito podprogramu, kde jsou jednotlivé dráhy nástroje napsány ručně pomocí G-kódu viz obr. 4.9. Podprogram je následně

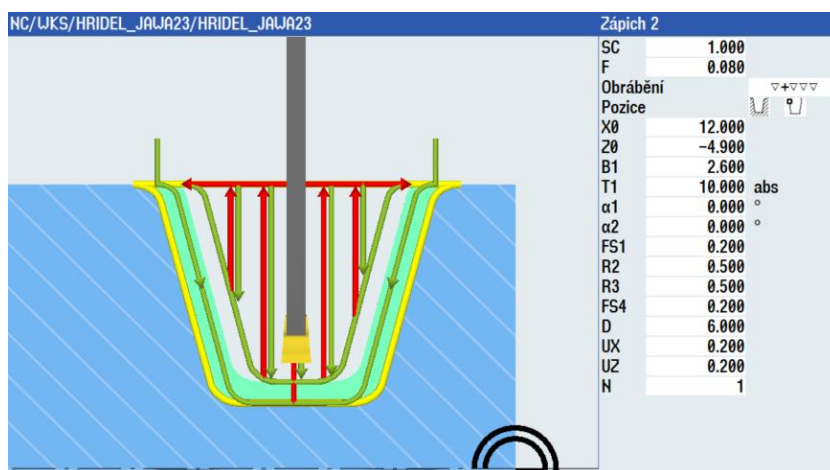
vyvolán vyvolávací funkcí CALL vždy po napolohování vřetene s obrobkem na požadovanou polohu. Každá drážka je frézována speciální kotoučovou frézou na dva průchody s ponecháním přídatku na následné broušení.

NC/WKS/HRIDEL_JAWA23/DRAZKOVANI2.SPF	NC/WKS/HRIDEL_JAWA23/DRAZKOVANI1.SPF
<pre> ; PODPROGRAM DRÁŽKOVÁNÍ 6x14f7x18a11x4d10 ; G01 Y32.5 G01 Z-52 G01 Y35 G00 Z-34 G01 Y32.15 G01 Z-52 G01 Y35 G00 Z-35 ; M17 </pre>	<pre> ; PODPROGRAM DRÁŽKOVÁNÍ 6x11f7x14a11x3d10 ; G01 Y31 G01 Z22.5 G01 Y33 G00 Z10 G01 Y30.65 G01 Z22.5 G01 Y33 G00 Z10 ; M17 </pre>

Obr. 4.9 Podprogramy pro frézování drážkování.

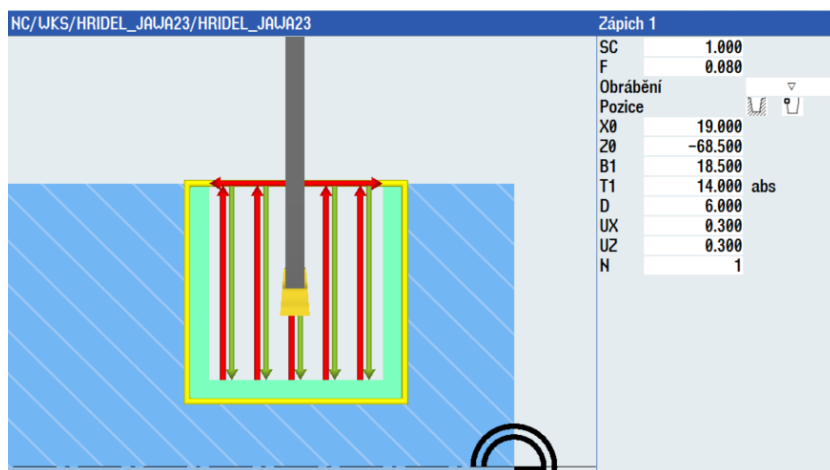
4.2.7 Soustružení zápichu

Pro zhotovení zápichu je zvolen cyklus pro zápichy (CYCLE930 – Zápich 2), který umožňuje nastavení boků zápichu s určitým úhlem ($\alpha 1$, $\alpha 2$) a nastavení rádiusů ($R1$ až $R4$), nebo sražení ($FS1$ až $FS4$) v rozích zápichu. Dále se nastaví bezpečná vzdálenost SC , posuv F , způsob obrábění (hrubování, dokončování, nebo obojí), pozice obrábění zápichu (z čela, z obvodu, nebo z otvoru), výchozí pozice v ose X $X0$ a v ose Z $Z0$, šířka zápichu dole $B1$, nebo nahoře $B2$, hloubka zápichu $T1$, maximální přísuv do hloubky při zanoření D , přídatku na obrábění na čisto UX a UZ a počet zápichů v řadě N .



Obr. 4.10 Soustružení zápichu u mazací drážky.

Cyklus pro soustružení zápichů je také použit pro hrubování jednoho z průměrů, který nelze hrubovat hrubovacím nožem. Tento zvolený cyklus (CYCLE930 – Zápich 1) umožňuje pouze nastavení základních parametrů viz obr. 4.11. Označení těchto parametrů je shodné s předchozím zapichovacím cyklem.



Obr. 4.11 Hrubování zápichovacím cyklem.

Zápich tvaru B je soustružen tvarovým nožem, jehož dráha je naprogramována pomocí G-kódů viz obr. 4.12. Obrábění je realizováno přímým pracovním posuvem nože v ose X na požadovanou hloubku zápichu a následně navrácení se rychloposuvem zpět nad obrobek.

```

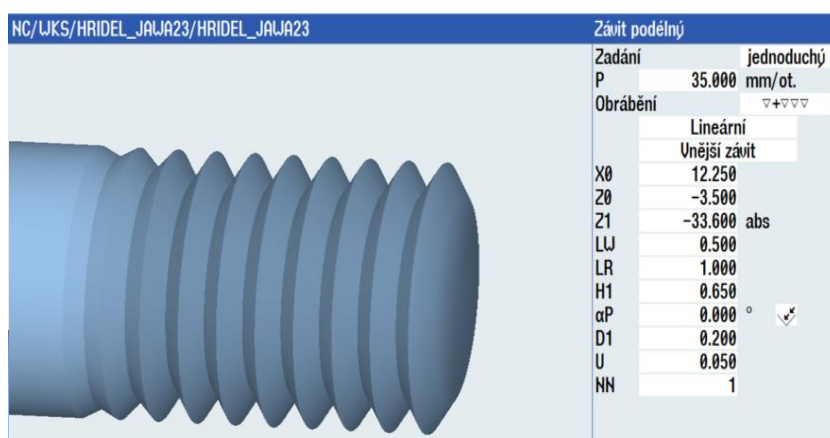
G00 X20 Z-50
F0.08
G01 X13.2
G00 X20
M5 M9
G00 X200 Z200

```

Obr. 4.12 Soustružení zápichu pomocí G-kódu.

4.2.8 Soustružení mazací drážky

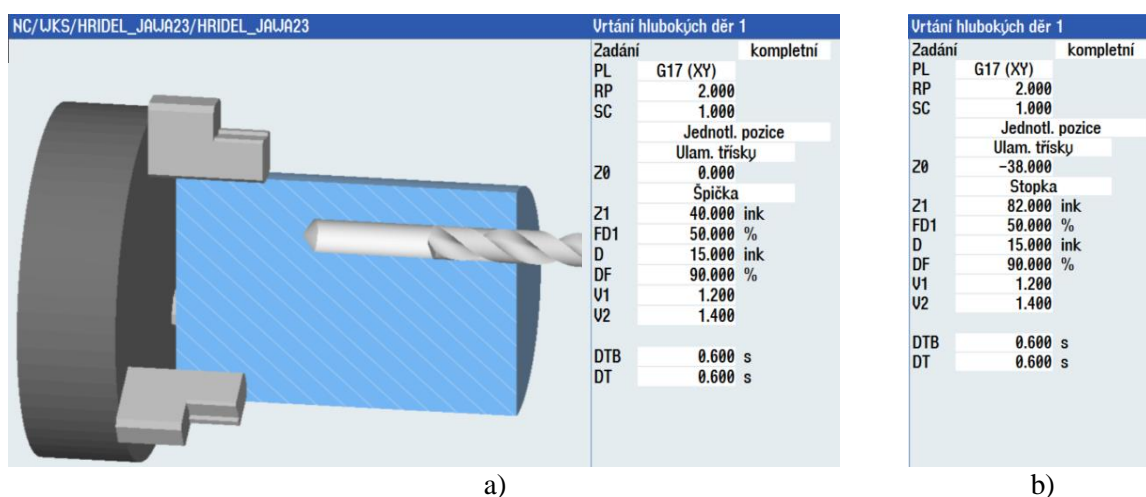
Obráběná mazací drážka je v podstatě závit s velkým stoupáním, proto pro její zhotovení je zvolen cyklus pro řezání závitů (CYCLE99 – závit podélný). Do parametru stoupání závitu **P** je vložena hodnota stoupání mazací drážky, výchozími parametry **X0** a **Z0** je počátek drážky, **Z1** je vzdálenost konce drážky v ose Z, **LW** a **LR** je stejně jako u závitu náběh a výběh, **H1** je hloubka drážky, **D1** je hloubka třísky, **U** je hodnota přídávku pro dokončení a **NN** je počet průchodů bez záběru.



Obr. 4.13 Soustružení mazací drážky.

4.2.9 Vrtání díry

Díra je vrtána dvěma vrtáky, nejprve vrtákem standardní délky a poté prodlouženým vrtákem skrz celou hřídel viz obr. 4.14. Pro naprogramování vrtání je použit cyklus pro vrtání hlubokých děr (CYCLE83 – Vrtání hlubokých děr 1), který umožňuje nastavení přerušovaného vrtání s ulamováním třísky, nebo s vyjetím vrtáku z díry a odstraněním třísek. Nastavení je obdobné jako u cyklu pro navrtávání, nejprve je zvolena rovina, ve které se bude vrtat, dále se nastaví návratová rovina **RP**, bezpečná vzdálenost **SC**, pozice vrtání (jednotlivá pozice, nebo polohový vzor), počáteční souřadnice vrtání **Z0**, hloubka vrtání **Z1**, buď po špičku vrtáku, nebo jako délka válcové části, hodnota posuvu při prvním přísuvu **FD1**, hloubka vrtání **D**, hodnota pro každý další posuv **DF**, minimální přísuv do hloubky **V1**, velikost zpětného pohybu **V2**, časová prodleva ve vrtané hloubce **DTB** a časová prodleva v konečné hloubce **DT**.

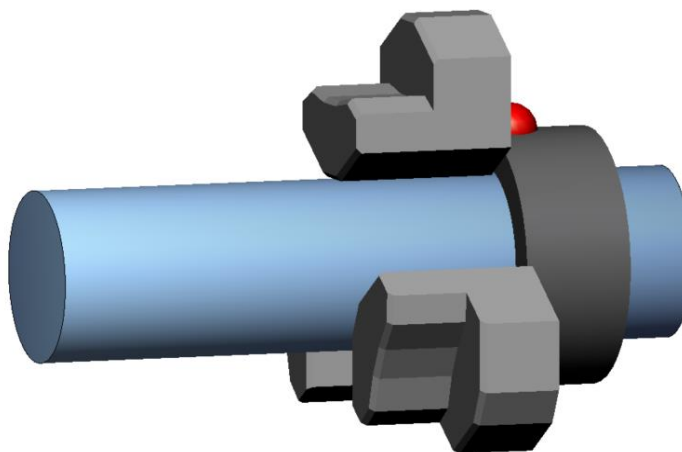


Obr. 4.14 Vrtání díry, a) vrták standardní délky, b) prodloužený vrták.

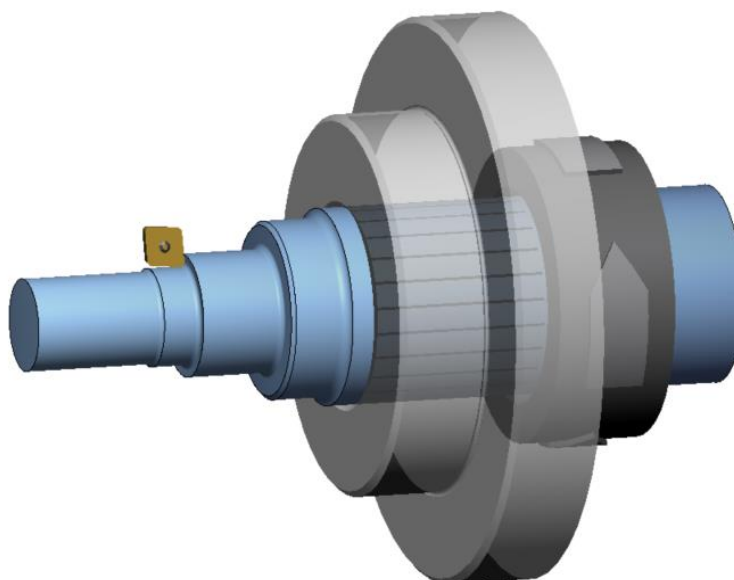
4.3 Simulace obrábění

Při programování obrábění je vhodné průběžně ověřovat funkčnost programu pomocí grafické simulace, tím si programátor ověří, zda program funguje správně a tak, jak on chce. Současně se touto kontrolou dá předejít případným haváriím stroje s obrobkem, zničením nástrojů a také se sníží množství vyrobených zmetků.

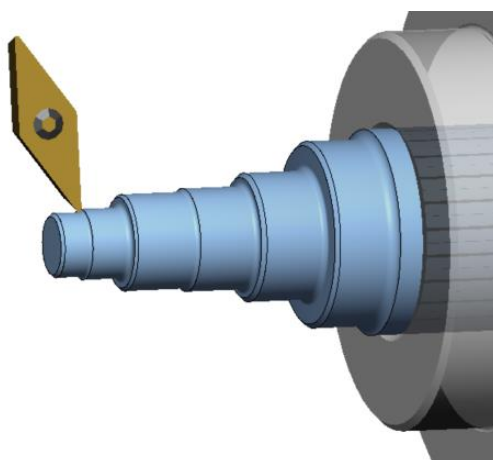
V následující grafické simulaci, na snímcích (obr. 4.15 až 4.29) získaných ze simulace obrábění sestaveného programu v software SinuTrain 4.7, jsou zachyceny jednotlivé obráběcí operace. Jednotlivé snímky jsou uspořádány v pořadí, ve kterém je součást obráběna. Výsledná délka obrábění by, dle simulací zjištěného času, měla být 26 minut a 16 vteřin.



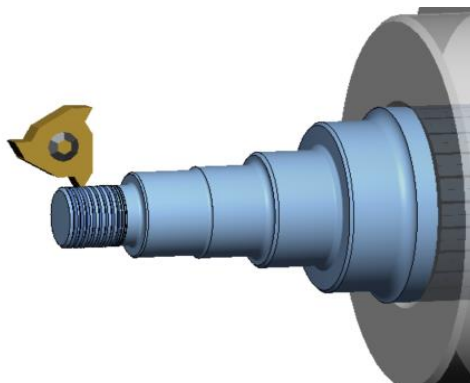
Obr. 4.15 Polotovár upnutý ve sklíčidle protivřetene.



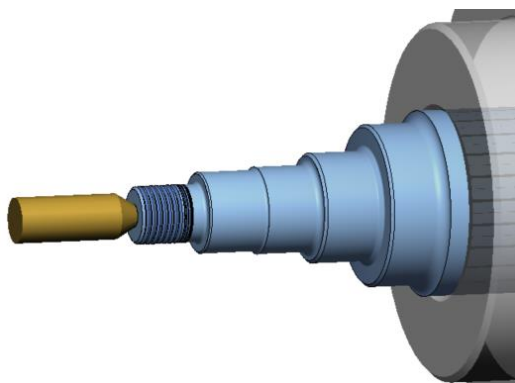
Obr. 4.16 Hrubování pravé strany.



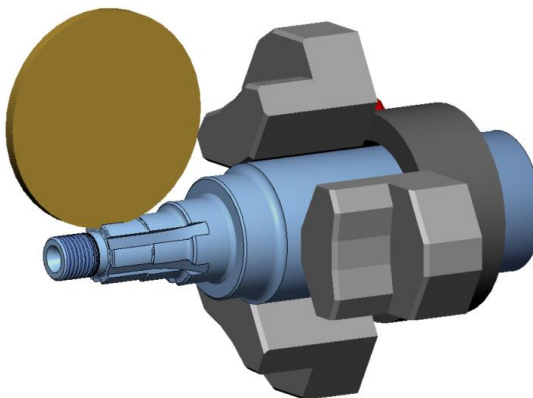
Obr. 4.17 Dokončování pravé strany.



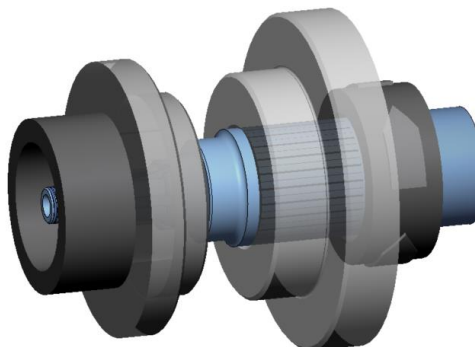
Obr. 4.18 Soustružení závitu M10.



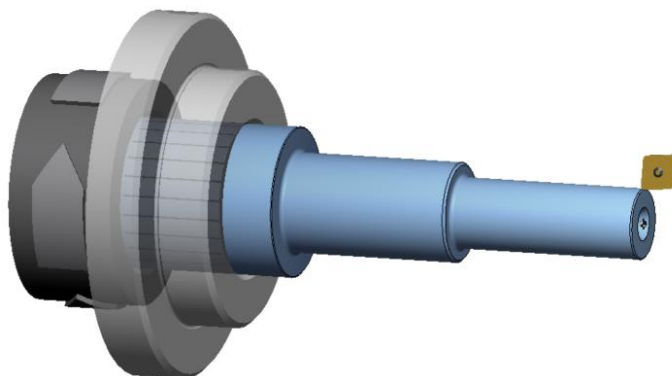
Obr. 4.19 Navrtávání středícího důlku.



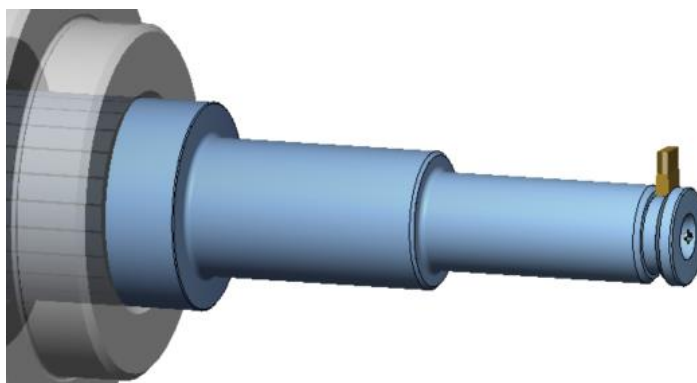
Obr. 4.20 Frézování drážkování.



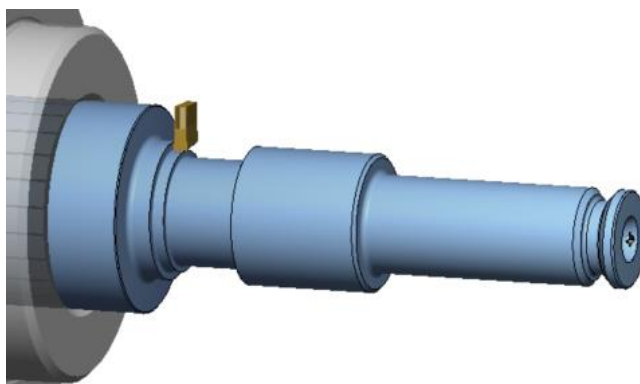
Obr. 4.21 Přepínání součásti z protivřetena do hlavního vřetena.



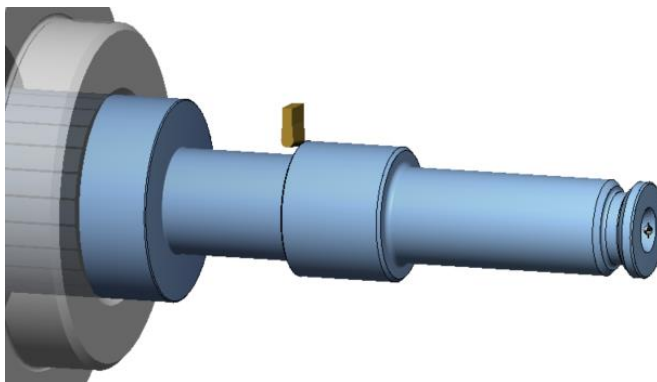
Obr. 4.22 Hrubování levé strany.



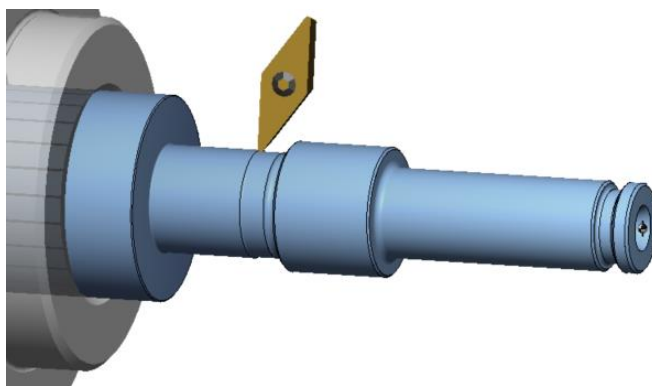
Obr. 4.23 Soustružení zápichu.



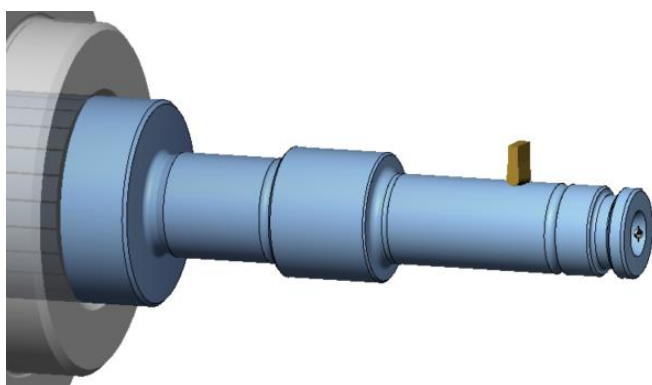
Obr. 4.24 Hrubování průměru zapichovacím nožem.



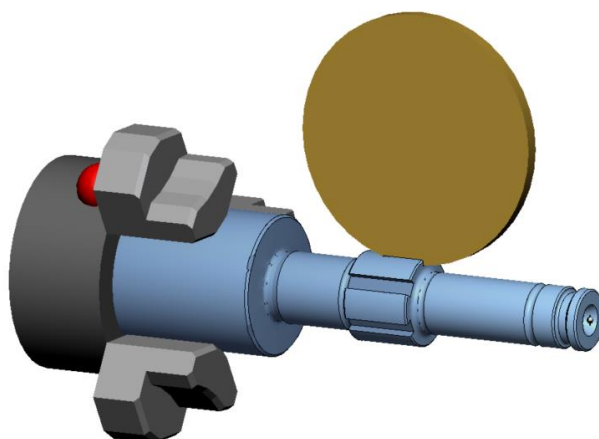
Obr. 4.25 Soustružení zápichu B.



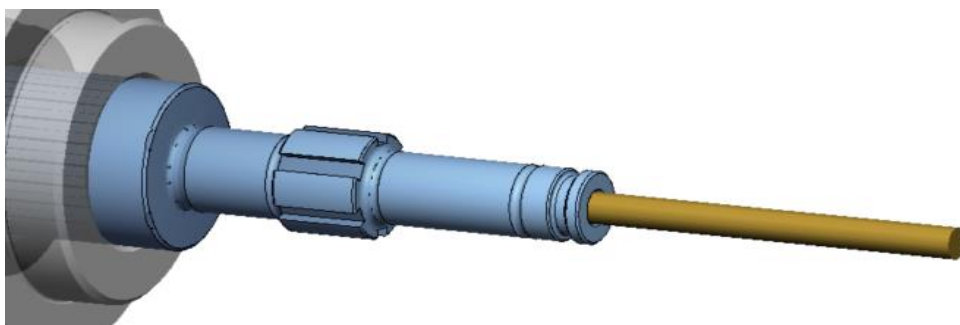
Obr. 4.26 Dokončování levé strany.



Obr. 4.27 Soustružení mazací drážky.



Obr. 4.28 Frézování drážkování.



Obr. 4.29 Vrtání průchozí díry.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo sestavení NC programu pro výrobu hřídelové součásti s využitím řídicího systému Sinumerik 840D. Jako vzorová součást byla zvolena hřídel s ozubením z převodové skříně motoru motocyklu značky JAWA.

Obsahem práce je představení vzorové součásti jejím téměř podrobným popisem a použitím, také je uveden použitý materiál, kterým je zvolena ocel 13 240. Pro znázornění součásti byl vytvořen její 3D model, ten následně posloužil i pro vytvoření výkresu v programu Autodesk Inventor Professional 2017. Z 3D modelu je určena hmotnost součásti, která činí 0,128 kg. Při kontrole hmotnosti, dle již vyrobené součásti, byla na váze naměřena hmotnost téměř shodná s hmotností 3D modelu, a to 0,126 kg.

V práci je uveden přehled několika základních materiálů používaných pro podobné součásti, jako je zvolená hřídel, nebo jiná ozubená kola či hřídele. Uvedeny jsou některé z vhodných a nejčastěji používaných ocelí, litin, neželezných kovů a plastických hmot.

Práce obsahuje kompletní technologickou dokumentaci pro výrobu dané součásti. Hlavním dokumentem je výkres, který byl navrhnutý, podle již vyrobené hřídele vyjmuté z převodové skříně. Dalším dokumentem je technologický postup výroby, jehož součástí je nástrojový list, předepisující nástroje pro obrábění. Pro sestavení technologického postupu bylo nutné navrhnout nejen vhodné nástroje, ale také potřebné stroje, vhodné pro obrobení dané hřídele, které jsou taktéž uvedeny ve třetí kapitole této práce. Pro zhotovení hřídele je navrženo využití dnes již standardních CNC obráběcích technologií, ale i nově rozvíjející se technologie pro obrábění ozubení pod názvem „Power skiving“. Pro kalení hřídele je navrženo využití, dnes ještě ne zcela standardně využívané, technologie kalení pomocí laserového paprsku.

Součástí práce je také vytvoření NC programu pro obrábění řešené součásti na zvoleném soustružnicko-frézovacím centru. Navrženým obráběcím centrem je soustruh SP 280 SY od firmy Kovosvit MAS, a.s. Program je sestaven podle navrženého výkresu a sestaveného technologického postupu. Programování bylo realizováno ve volně přístupném, výukovém, softwaru SinuTrain 4.7, který je podpůrným programem pro řídicí systém Sinumerik 840D a který umožňuje grafickou simulaci obrábění. Řídicí program je tvořen pomocí tzv. G-kódů (ISO programování) a vhodných cyklů obsažených v řídicím systému Sinumerik 840D. Sestavený program pro obrobení součásti byl úspěšně zkontrolován pomocí grafické simulace. Pro lepší názornost při obrábění drážkování byly upraveny šířky kotoučových fréz v seznamu nástrojů, jelikož v daném software není možnost nastavení tvarové frézy, ale pouze kotoučové. Při simulaci obrábění se vyskytl problém se zobrazením mazací drážky, jelikož software vykresluje závit jako jednotlivé drážky po obvodu, a ne jako drážku do šroubovice, je na obrázku ze simulace (obr. 4.27) z důvodu velkého stoupání vidět pouze jedna drážka vypadající jako zápich. Další problém, nejspíš chyba simulace, je při přepínání obrobku z jednoho vřetene do druhého, kdy nedochází k přemístění obrobku, ale zůstává v původním vřetenu. Z tohoto důvodu je do programu zařazeno, před obrábění druhé strany, vložení nového polotovaru. Délka obrábění by, podle simulací zjištěného času, měla být 26 minut a 16 vteřin. Při reálném obrábění by tento čas byl o něco delší, jelikož při simulaci jsou například zanedbávány dynamické vlastnosti stroje a mnoho dalších okolních vlivů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [2] *Dielenská příručka: JAWA 50 typ 20,23A*. Považská Bystrica: Tlačiarne SNP, n. p., Ružomberok, 1970.
- [3] BARTOŠ, Josef, Vítězslav NOVÁK a Miroslav ŠLEGL. *Části strojů: pro 2. a 3. ročník středních a průmyslových škol strojnických*. První. Praha 1, Spálená 51: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1969.
- [4] VRZAL, Bedřich. *Strojnické tabulky I*. První. Praha: SNTL, 1971.
- [5] FIALA, Jaromír, Pavel SVOBODA a Miroslav ŠIMONOVSKÝ. *Strojnické tabulky 2: Základní strojní prvky a součásti*. První. Praha: SNTL, 1988.
- [6] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS, Jiří DVOŘÁČEK a František PROKEŠ. *Základy konstruování*. Vyd. 3., upr. a dopl. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-7204-633-1.
- [7] ČERNOCH, Svatopluk. *Strojně technická příručka*. 12. přepr. vyd. Praha: SNTL, 1968. Řada strojírenské literatury.
- [8] Motocykl Jawa 50 typ 23 Mustang. ŠEVČÍK, Ladislav. *Motocykly Jawa 50 Pionýr* [online]. Meet WordPress, © 2003-2017 [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <http://www.jawa-50.cz/clanek/jawa-50-typ-23-mustang-informace-a-vyvoj-prototypy-export-html.html>
- [9] *Návod na obsluhu JAWA 50: TYP 220.100 a 223.200*. 9. Považská Bystrica: Tlačiarne SNP, n. p., Ružomberok, b.r.
- [10] BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. *Části strojů*. 5. přeprac. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. Technický průvodce. ISBN 80-030-0426-8.
- [11] VRZAL, Bedřich. *Strojnické tabulky II*. První. Praha: SNTL, 1971.
- [12] FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Konstrukční oceli*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996. ISBN 80-858-6795-8.
- [13] Převodní tabulka značení ocelí. KRATINA, Jakub. *E-konstrukter* [online]. Infinity Vision, 2013 [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/prevodni-tabulka-znacen-oceli>
- [14] FÜRBAACHER, Ivan, Josef STEIDL a Karel MACEK. *Lexikon technických materiálů se zahraničními ekvivalenty*. Praha: Verlag Dashöfer, 1998-2006. ISBN 80-86229-02-5.
- [15] Kovové materiály a jejich zpracování: Technické slitiny železa. *Ústav materiálového inženýrství* [online]. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/4_1_kovove-materialy-a-jejich-zpracovani.pdf
- [16] *Tumlikovo: Metal Cutting Technologies* [online]. WordPress, 2010 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/>
- [17] FIALA, Jaromír, Adolf BEBR a Zdeněk MATOŠKA. *Strojnické tabulky I: Materiály pro strojírenskou výrobu*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1987.
- [18] Perspektivy plastových ozubených převodů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. AG TOP TIP, 2017 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/perspektivy-plastovych-ozubenych-prevodu.html>

-
- [19] *Ročníkový projekt II - obrábění* [online]. KOCMAN, Karel a Jiří PERNIKÁŘ. VUT v Brně: Fakulta strojního inženýrství, 2002 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/RocnikovyProjekt_II-obrabeni.pdf
- [20] *Tungaloy: e-Catalog* [online]. Tungaloy Corporation, 2017 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://www.imc-companies.com/Tungaloy/tungaloycatalog/Index.aspx>
- [21] *Hoffmann Group: Hlavní katalog* [online]. b.r. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/>
- [22] *VERKO: Váš dodavatel profí nástrojů, nářadí a měřidel.* [online]. Winternet, 2013 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://www.verko.cz/radeco-polotovar-obdelnikove-hss-co10-9560/>
- [23] *Kasik Tools: Nabídka* [online]. b.r. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://www.kasiktools.cz/cz/nase-nabidka/co-nabizime>
- [24] *Sandvik Coromant: Nástroje* [online]. © 2000–2012 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromill_178/Pages/default.aspx
- [25] *Urdiamant: Katalogy. Urdiamant: Výroba diamantových nástrojů* [online]. WPublisher, b.r. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://www.urdiamant.cz/index.php?a=cat.4>
- [26] *PROMA: Obráběcí stroje na kov. PROMA* [online]. Praha: Netinvent Studio, s.r.o., 2017 [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.promacz.cz/pps--170th-pasova-pila-na-kov.html>
- [27] *KOVOSVIT MAS, a.s.: Machine your future* [online]. Sezimovo Ústí: KOVOSVIT MAS, a.s., 2016 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/sp-280-p6.html#main>
- [28] *KL TECH: Nástroje | Technologie | Servis* [online]. Webecom s.r.o., b.r. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <https://klte.inshop.cz/upinani-nastroju/vdi-din-iso-10889-1/typ-d/>
- [29] *Gleason: The total gear solutions provider* [online]. Gleason Corporation, 2017 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.gleason.com/products/3567/3565/100ps>
- [30] *MM Průmyslové Spektrum: Strojírenský měsíčník přinášející aktuální technické informace z tuzemska i ze zahraničí* [online]. AG TOP TIP, 2012 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/novinka/ozubarenstvi-se-systemem.html>
- [31] *LASCAM systems: Lasery pro kalení* [online]. Praha: Minti, 2017 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.lascam.cz/aplikace/kaleni/>
- [32] *Coherent* [online]. Santa Clara, USA: Coherent, Inc, 2017 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <https://www.coherent.com/lasers/laser/diode-laser-systems-and-fiber-lasers/highlight-d-series>
- [33] *Daro Handel, s.r.o.: Prodej kovoobráběcích a tvářecích strojů* [online]. eBrána s.r.o., 2017 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: [http://www.usedmachines.org/kategorie-stroju/bruska-na-drazkove-hridele-jumat-5710\[1\]](http://www.usedmachines.org/kategorie-stroju/bruska-na-drazkove-hridele-jumat-5710[1])
- [34] *Misan: Obráběcí stroje a nástroje* [online]. Lysá nad Labem: Misan s.r.o., 2017 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <http://www.misan.cz/okamoto/katalog-detail/ogm-250udxb-univerzalni-bruska-ogm-250udxb-pro-brouseni-valcovych-ploch/?viewpart=1>
- [35] *Obecný úvod do problematiky CNC programování: Část první* [online]. Velká Bíteš, b.r. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: http://www.sosbites.cz/images/stories/Pro-studenty/studijni-materialy/VUKOV_TEXT_-_1.ST.pdf
- [36] *Pro pokročilé: Synchronní vřeteno: Programové příkazy. SIEMENS* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z:
-

https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiLi_C6j8jTAhXLVRQKHW8iDgcQFggxMAE&url=https%3A%2F%2Fsupport.industry.siemens.com%2Fdokumentation%2FPDFTopicDownload.topicPDF.aspx%3FDocVersionId%3D19801200139%26TopicId%3D18490256395%26Lang%3Dcs&usg=AFQjCNE5U_036fOH3u2cm2iMIE3uUXRszw&sig2=6-nWCqGtU0e9u4suq7YuRg

- [37] Akademie CNC obrábění (4). POLZER, Aleš. *TECHNICKÝ PORTÁL: Technický týdeník* [online]. 2009 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc-obrabeni/akademie-cnc-obrabeni-4_8539.html

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
3D	Three dimensional (tří rozměrný)
Al ₂ O ₃	Oxid hlinitý
B ₄ C	Karbid bóru
CNC	Computer numerical control (počítačem číslicově řízený)
ČSN	Česká státní norma
DIN	Německá národní norma
EN	Evropská norma
HB	Tvrdost dle Brinella
HRC	Tvrdost dle Rockwella
HSS	High speed steel (rychlořezná ocel)
ISO	International Organization for Standardization
IT	Stupeň přesnosti
KNB	Kubický nitrid bóru
LH	Levý závit
PVD	Physical vapour deposition
SiC	Karbid křemíku
SK	Slinutý karbid
VBD	Vyměnitelná břitová destička

Symbol	Jednotka	Popis
D	[mm]	průměr hlavové kružnice ozubení na hřídeli
D	[mm]	průměr brusného kotouče
D _a	[mm]	průměr hlavové kružnice ozubení
D _b	[mm]	průměr základní kružnice ozubení
D _f	[mm]	průměr patní kružnice
D _p	[mm]	průměr polotovaru
D _r	[mm]	průměr roztečné kružnice ozubení
H	[mm]	průměr otvoru brusného kotouče
L1	[mm]	celková délka nože
L2	[mm]	délka pracovní části nože
L _p	[mm]	délka polotovaru
R _a	[μm]	průměrná aritmetická úchylka profilu povrchu
R _m	[MPa]	mez pevnosti
T	[mm]	šířka brusného kotouče
X	[mm]	tloušťka brusné vrstvy
a _p	[mm]	hloubka záběru ostří
b	[mm]	šířka těla nože
c _a	[mm]	hlavová vůle
d	[mm]	největší průměr obrobku
f	[mm]	celková šířka nože
f	[mm]	posuv
h	[mm]	výška zubu ozubení
h	[mm]	výška těla nože

h_1	[mm]	vzdálenost špičky od základny nože
h_a	[mm]	výška hlavy zubu
h_f	[mm]	výška paty zubu
l	[mm]	délka součásti
m	[mm]	modul
n_1	[min ⁻¹]	otáčky motoru při maximálním výkonu
n_2	[min ⁻¹]	otáčky řešené hřídele
p	[mm]	přídavek na průměr pro polotovar
r_ϵ	[mm]	zaoblení špičky nože
s	[mm]	tloušťka zubu
s_u	[mm]	šířka zubní mezery
t	[mm]	rozteč zubů
v	[m.s ⁻¹]	obvodová rychlost ozubení na řešené hřídeli
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
x	[mm]	přídavek na délku polotovaru
z	[-]	počet zubů ozubení
z_1	[-]	počet zubů ozubeného kola na klikové hřídeli
z_2	[-]	počet zubů ozubeného kola spojkové lamely
α	[°]	úhel záběru ozubení
π	[-]	Ludolfovo číslo

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Technologický postup
Příloha 2	Nástrojový list
Příloha 3	Doplňující informace o SP 280 SY
Příloha 4	CNC program
Příloha 5	Výkres součásti


Príloha 1 (1/2)

VUT FSI ÚST BRNO		TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Hřídel JAWA Název součásti:	JAWA 23 - 001 Číslo výkresu:
16.2.2017 Dne:	Martin Motl Vyhotožil:			ø32-121 ČSN EN 10060 Polotovár:	1. Č.listu :
Číslo op. Pořadové:	Název, označení stroje, zařazení, pracoviště:	Dílna:	Popis práce v operaci:		Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:
Orienační:					
00/00	PÁSOVÁ PILA	SKLAD	ŘEZAT MATERIÁL ø32 NA DÉLKU 121 ± 0,5.		POSUVNÉ MĚŘÍTKO
	PROMA PPS-170TH				
	05963				
01/01	OTK	MĚŘ. PR.	KONTROLOVAT DÉLKU POLOTOVARU 121 ± 0,5;		POSUVNÉ MĚŘÍTKO
	09863		ČETNOST 30 %.		
02/02	CNC SOUSTRUH	OBROBNA	UPNOUT OBROBEK DO SKLÍČIDLA PŘI VYSUNUTÍ MIN. 60;		CNC program HRIDEL_JAWA23
	KOVOSVIT MAS		ZAROVNAT ČELO;		
	SP 280 SY		HRUBOVAT ø29±0,3 DO VZDÁLENOSTI 54,4±0,3;		
	34452		HRUBOVAT ø20±0,3 DO VZDÁLENOSTI 41,5±0,3;		T1
			HRUBOVAT ø16±0,3 DO VZDÁLENOSTI 31±0,3;		T2
			HRUBOVAT ø15±0,3 DO VZDÁLENOSTI 21,5±0,3;		T3
			HRUBOVAT ø11±0,3 DO VZDÁLENOSTI 11±0,3;		T4
			DOKONČIT ø10 DO VZDÁLENOSTI 11,5±0,2;		T5
			DOKONČIT ø14a11 DO VZDÁLENOSTI 22 ^{+0,2} _{-0,0} ;		T6
			DOKONČIT ø15,3-0,1 DO VZDÁLENOSTI 31,5±0,05;		T7
			DOKONČIT ø19±0,2 DO VZDÁLENOSTI 42±0,1;		T8
			DOKONČIT ø28h9 DO VZDÁLENOSTI 55±0,2;		T9
			ŘEZAT ZÁVIT M10x1 DO VZDÁLENOSTI 9,5;		T10
			NAVRTAT STŘEDICÍ DŮLEK A3,15;		T11
			FRÉZOVAT ROVNOBOKÉ DRÁŽKOVÁNÍ 6 x 11f7 x 14a11 x 3d10		T12
			NA ø11f7 S PŘÍDAVKEM 0,3-0,1 mm PRO BROUŠENÍ;		
			PŘEUPNOUT DO PROTIVŘETENA DO SKLÍČIDLA ZA ø19		POSUVNÉ MĚŘÍTKO
			ZAROVNAT ČELO NA DÉLKU 118±0,1;		
			Z ČELA NAVRTAT STŘEDICÍ DŮLEK A3,15;		
			PODEPŘÍT HROTEM UPNUTÝM VE VŘETENU;		
			HRUBOVAT ø19±0,3 DO VZDÁLENOSTI 68±0,3;		
			HRUBOVAT ø13±0,3 DO VZDÁLENOSTI 35,5±0,3;		
			SOUSTRUŽIT ZÁPICH ø10±0,2 ŠÍŘKY 2,6±0,1 VE		
			VZDÁLENOSTI 4,9±0,1;		
			HRUBOVAT ø15±0,3 MEZI PRŮMĚRY 28h9 A 18a11;		
			SOUSTRUŽIT ZÁPICH B1,6 x 0,2 VE VZDÁLENOSTI 50 ^{+0,1} _{-0,2} ;		
			DOKONČIT ø12,3-0,1 DO VZDÁLENOSTI 36 ^{+0,2} _{-0,0} ;		
			DOKONČIT ø18a11 VE VZDÁLENOSTI OD 36 ^{+0,2} _{-0,0} DO 50 ^{+0,1} _{-0,2} ;		
			DOKONČIT ø14,3-0,1 VE VZDÁLENOSTI OD 50 ^{+0,1} _{-0,2} DO 68,5±0,1		
			SE ZÁPICHEM G2,5 x 0,3;		
			FRÉZOVAT ROVNOBOKÉ DRÁŽKOVÁNÍ 6 x 14f7 x 18a11 x 4d10		
			NA ø14f7 S PŘÍDAVKEM 0,3-0,1 mm PRO BROUŠENÍ;		

Příloha 1 (2/2)

VUT FSI ÚST BRNO		TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Hřídel JAWA <i>Název součásti:</i>	JAWA 23 - 001 <i>Číslo výkresu:</i>
16.2.2017 <i>Dne:</i>	Martin Motl <i>Vyhotovil:</i>			ø32-121 ČSN EN 10060 <i>Polotovár:</i>	2. <i>Č.listu:</i>
Číslo op. Pořadové:	Název, označení stroje, zařazení, pracoviště:	Dílna:	Popis práce v operaci:		Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:
Orienační:					
	viz. list č.1		SOUSTRUŽIT DRÁŽKU R1 DO HLOUBKY 0,5±0,1 SE STOUPÁNÍM 35 mm.ot ⁻¹ VE VZDÁLENOSTI OD 4,9±0,1 DO 33,6±0,3; UKONČIT PODEPŘENÍ HROTEM; VRTAT Z ČELA DÍRU ø5,5 V CELÉ DÉLCE, NUTNO PŘEDVRTAT DO HLOUBKY MIN. 30 mm VRTÁKEM 6xD;		viz. list č.1
03/03	OTK	MĚŘ. PR.	KONTROLOVAT ROZMĚRY OBROBENÝCH PLOCH PO SOUSTRUŽENÍ A FRÉZOVÁNÍ, ČETNOST 30 % ;		POSUVNÉ MĚŘÍTKO MIKROMETR
	09863				
04/04	POWER SKIVING Machines 100PS GLEASON 35899	OBROBNA	ZHOTOVIT PŘÍMÉ ČELNÍ OZUBENÍ NA ø28h9, z=14, m=1,75, α=20°;		T13 POSUVNÉ MĚŘÍTKO
05/05	ROBOTIZOVANÝ LASER PRO KALENÍ LASCAM 98112	KALÍRNA	PŘÍPRAVA PRO TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ, POVRCHOVĚ KALIT NA 55±2 HRC LASEREM ZUBY ČELNÍHO OZUBENÍ, ø12f7, ø14f7 A PLOCHY ø14f7 A BOKY UVNITŘ ROVNOBOKÉHO DRÁŽKOVÁNÍ 6 x 14f7 x 18a11 x 4d10 DLE OZNAČENÍ NA VÝKRESU;		
06/06	BRUSKA NA DRÁŽKOVÉ HRÍDELE JUNKER JUMAT 5710 35762	BRUSÍRNA	UPNOUT DO SKLÍČIDLA ZA ø12 S PODEPŘENÍM HROTEM; BROUSIT TVAROVĚ PLOCHY ø14f7, ø11f7 A BOKY ZUBŮ OBOJÍHO ROVNOBOKÉHO DRÁŽKOVÁNÍ;		POSUVNÉ MĚŘÍTKO MIKROMETR
07/07	UNIVERZÁLNÍ BRUSKA OKAMOTO OGM-250UDXB 35522	BRUSÍRNA	UPNOUT MEZI HROTY; BROUSIT ø12f7 V PLNÉ DÉLCE 36 HOTOVĚ NA Ra 0,4; BROUSIT ø14f7 V PLNÉ DÉLCE 18,5 HOTOVĚ NA Ra 0,4; BROUSIT ø15k6 V PLNÉ DÉLCE 9,5 HOTOVĚ NA Ra 0,8;		T14 POSUVNÉ MĚŘÍTKO MIKROMETR
08/08	OTK	MĚŘ. PR.	KONTROLOVAT ROZMĚRY BROUŠENÝCH PLOCH A JEJICH STRUKTURU DLE VÝKRESU; KONTROLOVAT SOUČÁST CELKOVĚ PO OBROBENÍ; ČETNOST 30 % .		POSUVNÉ MĚŘÍTKO MIKROMETR DRS NOMĚR KRUHOMĚR
	09863				
09/09	SKLAD	SKLAD	KONZERVOVAT A BALIT DO VOSKOVANÉHO PAPIŘU;		KOZNERVAČNÍ OLEJ VOSKOVANÝ PAPIR
	09913				

Příloha 2 (1/2)

VUT FSI ÚST BRNO		NÁSTROJOVÝ LIST		Hřídel JAWA Název součásti:	JAWA 23 - 001 Číslo výkresu:
Dne: 19.3.2017		Vyhotožil: Martin MOTL			
Č. NÁSTROJE	ZNÁZORNĚNÍ	NÁZEV NÁSTROJE	VÝROBCE	OZNAČENÍ NÁSTROJE (Obj.č.)	MATERIÁL
T1		Soustružnický nůž hrubovací	Tungaloy Corporation, Tungaloy Czech s.r.o.	Vnější nůž PWLNR 2525M0604 - CHP	Konstrukční ocel
		VBD hrubovací		VBD WNMG060408-TM	P25
T2		Soustružnický nůž dokončovací	Tungaloy Corporation, Tungaloy Czech s.r.o.	Vnější nůž PVJNR 2525M16 - CHP	Konstrukční ocel
		VBD dokončovací		VBD VNMG160404-TSF	P10
T3		Soustružnický nůž hrubovací	Tungaloy Corporation, Tungaloy Czech s.r.o.	Vnější nůž PWLNL 2525M0604 - CHP	Konstrukční ocel
		VBD hrubovací		VBD WNMG060408-TM	P25
T4		Soustružnický nůž dokončovací	Tungaloy Corporation, Tungaloy Czech s.r.o.	Vnější nůž PVJNL 2525M16 - CHP	Konstrukční ocel
		VBD dokončovací		VBD VNMG160404-TSF	P10
T5		Soustružnický nůž závitový	Tungaloy Corporation, Tungaloy Czech s.r.o.	Závitový nůž CER 2525M16DT	Konstrukční ocel
		VBD závitová		VBD 16ER10ISO	P20
T6		Soustružnický nůž zapichovací	GARANT, Hoffmann Group	Držák upichovacího nože levý 25/2 (27 3751)	Konstrukční ocel
		VBD zapichovací		VBD dvoubřitá zapichovací 2 mm (27 3718)	P20
T7		Středicí vrták	GARANT, Hoffmann Group	Středicí vrták A3,15 DIN333 (11 1100)	HSS/E + TiAlN
T8		Spirálový vrták SK	GARANT, Hoffmann Group	Vrták SK HPC s válcovou stopkou HA, 6xD Ø5,5 mm DIN 6535 (12 2736)	SK + TiAlN
T9		Spirálový vrták SK	GARANT, Hoffmann Group	SK vrták na hluboké otvory HPC s válcovou stopkou HA, 20xD Ø5,5 mm DIN 6535 (12 3690)	SK + TiAlN
T10		Rádusový nůž	PRECITOOL	Nůž vybroušen dle požadovaného tvaru rádiusu R1 z polotovaru: RADECO obdélníkové 10x5x200	HSS-Co

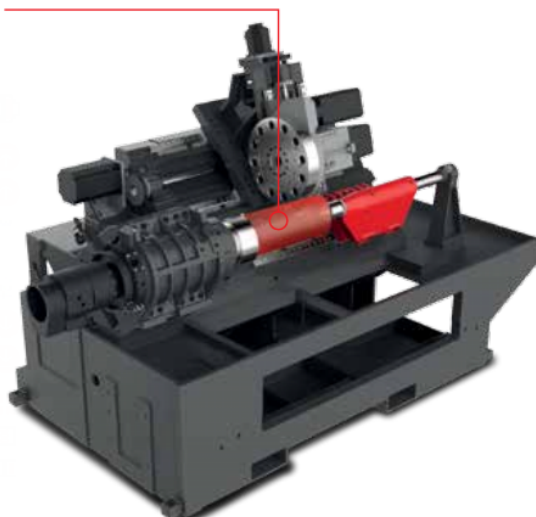
Příloha 2 (2/2)

VUT FSI ÚST BRNO		NÁSTROJOVÝ LIST		Hřídel JAWA Název součásti:	JAWA 23 - 001 Číslo výkresu:
Dne: 19.3.2017		Vyhotožil: Martin MOTL			
Č. NÁSTROJE	ZNÁZORNĚNÍ	NÁZEV NÁSTROJE	VÝROBCE	OZNAČENÍ NÁSTROJE (Obj.č.)	MATERIÁL
T11		Kotoučová fréza	KASIK TOOLS	Kotoučová fréza na rovnoboké drážkování ON 22 2734, drážkování 6x11x14x3	HSS + TiN
T12		Kotoučová fréza	KASIK TOOLS	Kotoučová fréza na rovnoboké drážkování ON 22 2734, drážkování 6x14x18x4	HSS + TiN
T13		Stopková fréza pro Power skiving	SANDVIK Coromant	CoroMill 178S, monolitní karbidová stopková fréza, modul 1,75 pro ozubení	SK
T14		Brousicí kotouč	URDIAMANT	FEPA 1A1 2-300-12/3	KNB

Charakteristika stroje **SP 280**

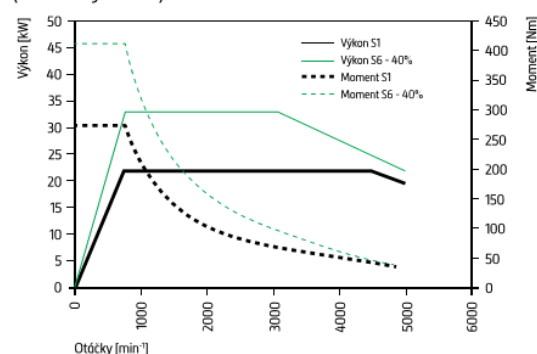
- Velikost stroje určená v názvu maximálním obráběným průměrem (280 mm) umožní výrobu s vysokou produktivitou včetně obrábění z pravého vřetena
- Pět technologických variant pro každou velikost stroje dovolí ideální volbu Vašeho technologického řešení od malosériové až po specializovanou hromadnou výrobu
- Robustní základ stroje a lože dávají strojům vysokou tuhost
- Deformace mechanických částí strojů jsou verifikovány numerickými metodami výpočtu – FEM
- Dynamika a stabilita pohybu os je ověřována moderními výpočtovými metodami
- Vřetenové jednotky umožňují velký obráběcí výkon
- Synchronní vestavné vřetenové motory poskytují vysokou dynamiku funkcí vřetena a výkonnou rotační osu C
- Suporty lineárních os, pravý vřeteník nebo těleso koníka pojíždí po valivém vedení a dávají strojům vysokou přesnost polohování a interpolovaného pohybu os suportů
- Tuhost tříosého provedení horního suportu zdůrazňuje řešení s virtuálním pohybem osy Y1, který je složen interpolací reálných os X1 a Y' svírající úhel 30 stupňů
- Programovatelný pohyb tělesa koníka redukuje jinak nutné zásahy obsluhy do obráběcího procesu
- Volitelně použitelné moderní řídicí systémy SINUMERIK 840D sl, GE FANUC Oi a GE FANUC 30i garantují výborné regulační vlastnosti a programátorský komfort
- Stroje splňují Vaše očekávání ve snadné obsluze včetně integrovaného dílenského programování

- Max. průměr soustružení: 280 mm
- Max. délka soustružení: 550 mm
- Max. hmotnost obrobku: 350 kg (při 1000 min⁻¹)



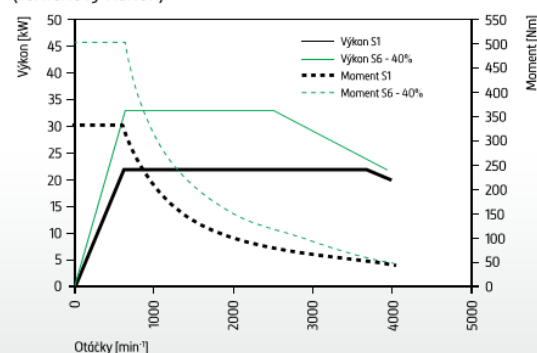
SP 280 A6 SIEMENS, HEIDENHAIN

(řemenový náhon)



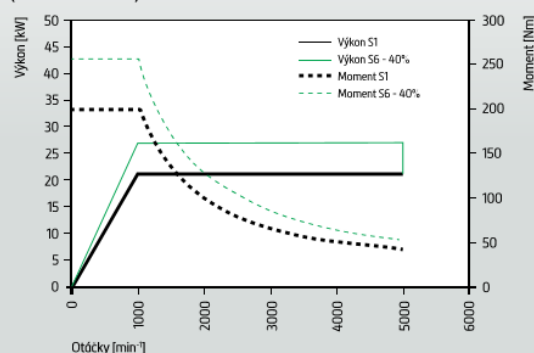
SP 280 A8 SIEMENS, HEIDENHAIN

(řemenový náhon)



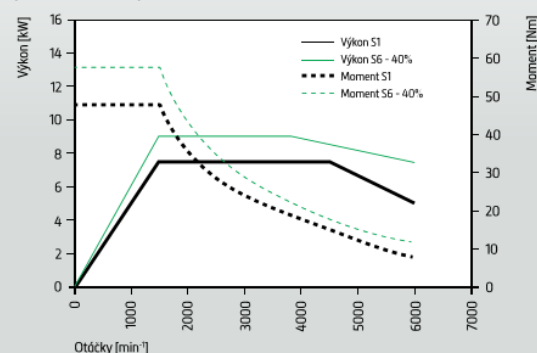
SP 280 A6, SIEMENS, HEIDENHAIN

(elektrovřeteno)

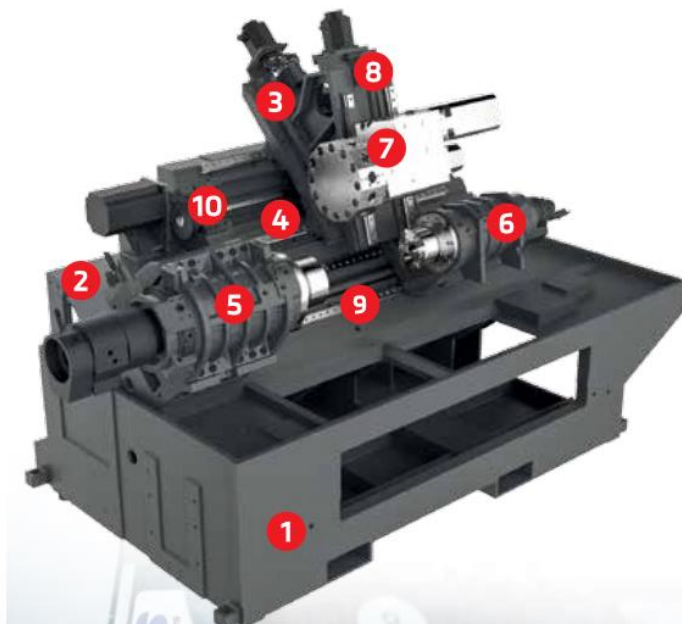


SP 280 PROTIVŘETENO A5 SIEMENS, HEIDENHAIN

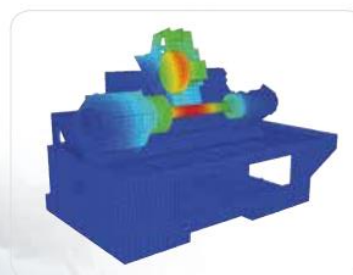
(elektrovřeteno)



Základní koncepce stroje **SP 280**



- 1 | Základ stroje
- 2 | Lože
- 3 | Saně - posuv v ose Y
- 4 | Saně - posuv v ose Z1
- 5 | Hlavní vřeteno
- 6 | Protivřeteno / koník
- 7 | Nástrojová hlava
- 8 | Valivé vedení - osa X1
- 9 | Valivé vedení - osa ZS
- 10 | Valivé vedení - osa Z1



FEM model

Nosná konstrukce stroje je z hlediska statické tuhosti a dynamických vlastností optimalizována metodou konečných prvků.



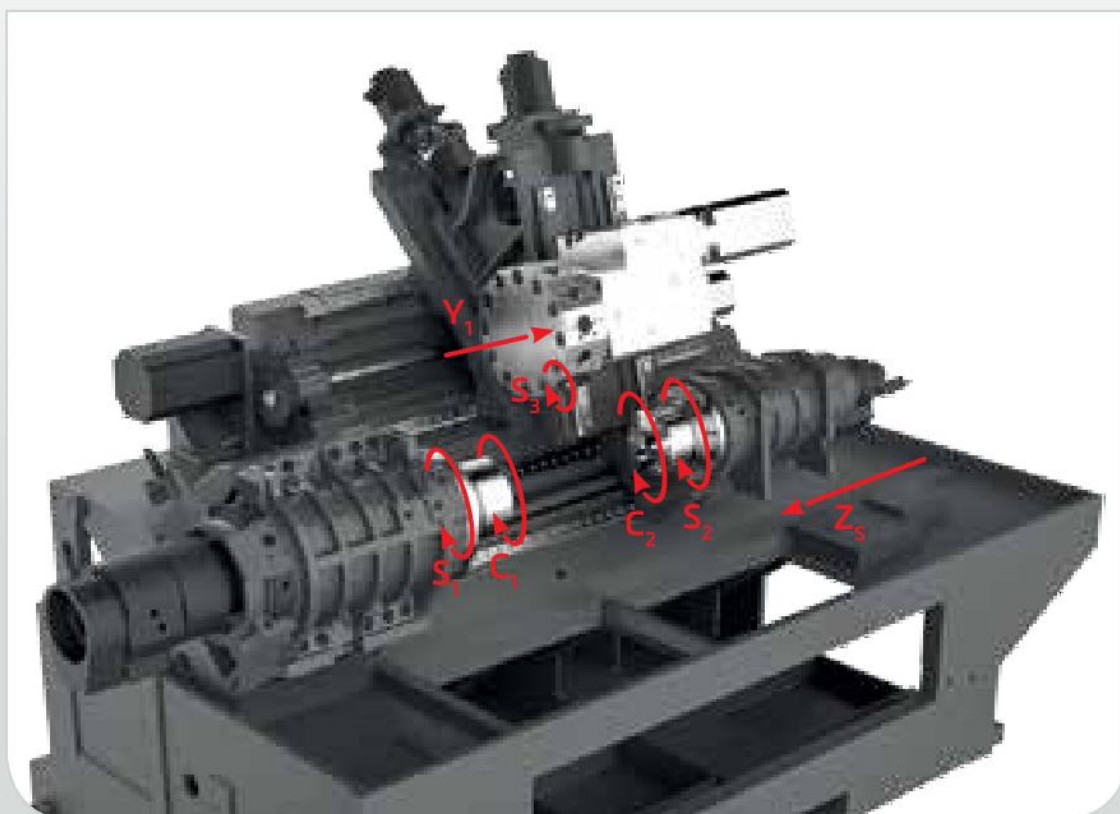
OZNAČOVÁNÍ OS A VŘETEN

- S1 | Otáčky levého vřetena
- S2 | Otáčky pravého vřetena
- S3 | Otáčky nástrojového vřetena horní hlavy
- C1 | Rotační osa C levého vřetena
- C2 | Rotační osa C pravého vřetena
- X1 | Lineární osa horního suportu (kolmá na osu levého vřetena)
- Z1 | Lineární osa horního suportu (rovnoběžná s osou levého vřetena)
- Y | Lineární osa Y horního suportu
- ZS | Lineární osa pravého vřeteníka - koníka

TECHNOLOGICKÉ VARIANTY

OZNAČENÍ	PROVEDENÍ	VŘETENO	SYSTÉM
SP 280	S1, X1, Z1	22 kW / A6 22 kW / A8	SIEMENS / HEIDENHAIN
SP 280 MC	S1, C1, X1, Z1, S3	21 kW / A6	SIEMENS / HEIDENHAIN
SP 280 Y	S1, C1, X1, Z1, Y, S3	21 kW / A6	SIEMENS / HEIDENHAIN
SP 280 SMC	S1, S2, C1, C2, X1, Z1, ZS, S3	21 kW / A6	SIEMENS / HEIDENHAIN
SP 280 SY	S1, S2, C1, C2, X1, Y1, Z1, ZS, S3	21 kW / A6	SIEMENS / HEIDENHAIN

SP 280 SY



[ZDROJ: <http://www.kovosvit.com/upload/products/pdf/sp-280-1446197735.pdf>]

```

SIEMENS SINUMERIK OPERATE 06.05.17 23:20
NC/UJS/HRIDEL_JAWA23/HRIDEL_JAWA23 259
;CNC PROGRAM PRO HRIDEL JAWA 23, Martin Motl, 16.4.2017
;polotovar: průměr 32 mm a délka 121 mm
MSG("HRIDEL JAWA 23-001")
;
;
;          ZÁKLADNÍ NASTAVENÍ
G18
G54
G90
G95
G96
DIAMON
;
;
G00 Z2=500 ;určení polohy protivřetene
;
;vložení polotovaru
UORKPIECE(, , "CYLINDER", 4096, 0, 121, 56.5, 32)
;
;
;          SOUSTRUŽENÍ PRVNÍ STRANY V PROTIVŘETENU
;
;
SETMS(2);nastavení protivřetene řidicím vřetenem
;
;
MSG("Zarovnání čela a hrubování kontury 1")
G00 X200 Z-200;souřadnice výměny nástroje
T="HRUBOVACÍ NŮŽ_P"
S150 LIMS=6000
;
;
M8 M3 F0.2
G00 X35 Z0
G01 X-2

G00 X35 Z-1
;
;
CYCLE62("KONTURA1", 0, , )
CYCLE952("KONTURA1", , "", 2101411, 0.3, 0, 0, 3, 0.1, 0.1, 0.5, 0.3, 0.1, 0, 1, 0, 0, , , , 2, 2, , , 0, 1, , 0, 12, 1,
M9 M5
;
;
MSG("Dokončování kontury 1")
G00 X200 Z-200
T="DOKONČOVACÍ NŮŽ_P"
S200 LIMS=6000 M3 M8
;
;
CYCLE952("KONTURA1", , "", 2101421, 0.12, 0, 0, 2, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0, 1, 0, 0, , , , 2, 2, , , 0, 1, , 0, 12,
M9 M5
;
;
MSG("Soustružení závitu M10")
G00 X200 Z-200
T="ZÁVITOVÝ NŮŽ_1"
S100 LIMS=6000 M3 M8
;
;
CYCLE99(0, 10, 11, , 2, 2, 0.61344, 0.05, 0, 0, 5, 1, 1, 1300203, 4, 2, 0.112688, 0.5, 0, 0, 1, 0, 0, 1, , , , 102, 1)
M9 M5
;
;
MSG("Navrtání středícího důlku")
G00 X200 Z-200
T="STŘEDICÍ VRTÁK A3, 15_P"
S15 LIMS=6000 M3 M8
;
;
G00 X0 Z-2
CYCLE81(-10, 0, 1, , 5.4, 0.6, 0, 1, 11)

```



```

M9 M5
G00 X200 Z-200
;
;
;           FRÉZOVÁNÍ DRÁŽKOVÁNÍ
;
MSG("Frézování drážkování")
T="KOTOUČOVÁ_FRÉZA 1"
G94
F40 M3=3 S110
G00 X-3 Y33 Z10
;
SPOS=0
CALL "DRAZKOVANI1.SPF"; #SM; *RO*
;
SPOS=60
CALL "DRAZKOVANI1.SPF"; #SM; *RO*
;
SPOS=120
CALL "DRAZKOVANI1.SPF"; #SM; *RO*
;
SPOS=180
CALL "DRAZKOVANI1.SPF"; #SM; *RO*
;
SPOS=240
CALL "DRAZKOVANI1.SPF"; #SM; *RO*
;
SPOS=300
CALL "DRAZKOVANI1.SPF"; #SM; *RO*
;

```

```

G00 X200 Y0 Z-200
;
M5 M9
;
;           PŘEUPNUTÍ DO DRUHÉHO VŘETENE
;
MSG("Přepnutí součásti do hlavního vřetene")
SETMS(1); nastavení hlavního vřetene řídícím vřetenem
M3 M2=4 S50 S2=50 ; roztočení obou vřeten
COUPDEF(S2, S1, -1) ; spřažení vřeten
SPCON
SPCON(2)
COUPON(S2, S1)
;
M71
G00 Z2=40 ; příjezd vřetene s obrobkem k hlavnímu vřetenu
M11; uvolnit hlavní vřeteno
F10
G01 Z2=-14 ; zajetí obrobku do vřetene na požadovanou polohu
M10; upnout hlavní vřeteno
M72
G4 F5; pauza 5 vteřin
M21; uvolnit protivřeteno
G4 F5
G00 Z2=500 ; odjetí protivřetene
;
COUPOF(S2, S1)
M5 M2=5

```

Příloha 4 (3/5)

```

; NASTAVENÍ HLAVNÍHO VŘETENE
G90
G95
G96
DIAMON
;
G55 ; definování dalšího nulového bodu
; pro možnost simulace vložen tento polotovár
UORKPIECE(, , "CYLINDER", 0, 1.5, 118, 79, 28)
;
MSG("Zarovnání čela")
G00 X200 Z200
T="HRUBOVACÍ NŮŽ_L"
S150 LIMS=4700
M8 M4 F0.2
G00 X35 Z0
G01 X-2
G00 Z1
G00 X200 Z200
;
MSG("Navrtání středícího důlku")
T="STŘEDICÍ VRTÁK A3, 15_L"
S15 LIMS=500 M3 M8
;
G00 X0 Y0 Z2; najetí před obrobek do osy rotace
CYCLE81(10, 0, 1, , 5.4, 0.6, 0, 1, 11)
G00 X200 Z200
M5 M9
;

MSG("PAUZA, čekání na obsluhu pro podepření součásti hrotem")
M0; zastavení programu
;
MSG("Hrubování kontury 2")
T="HRUBOVACÍ NŮŽ_L"
S150 LIMS=4700
M8 M4
G00 X35 Z10
;
CYCLE62("KONTURA2", 0, , )
CYCLE952("KONTURA2", , , , 2101311, 0.3, 0, 0, 2.5, 0.1, 0.1, 0.5, 0.3, 0.1, 0, 1, 0, 0, , , , 2, 2, , , 0, 1, , 0, 12,
M9 M5
;
MSG("Soustružení zápichu a zbylé hrubování")
G00 X200 Z200
T="ZAPICHOVACÍ NŮŽ 2"
S140 LIMS=4700
M4 M8
G00 X15 Z-4
; zápich u mazací drážky
CYCLE930(12, -4.9, 2.6, 2.6, 10, , 0, 0, 0, 0.2, 0.5, 0.5, 0.2, 0.2, 6, 1, 10130, , 1, 30, 0.08, 1, 0.2, 0.2, 2, 100,
G00 X25
; průměr 14
CYCLE930(19, -68.5, 18.5, 18.5, 14, , 0, 0, 0, 2, 2, 2, 2, 0.2, 6, 1, 10110, , 1, 30, 0.08, 0, 0.3, 0.3, 2, 1111100)
G00 X200 Z200
M5 M9
;
MSG("Zápich B1, 6x0, 2")
T="ZAPICHOVACÍ NŮŽ R2"

```

```

S140 LIMS=4700
M3 M8
;
G00 X20 Z-50
F0.08
G01 X13.2
G00 X20
M5 M9
G00 X200 Z200
;
MSG("Dokončení kontury 2")
T="DOKONČOVACÍ NŮŽ_L"
S200 LIMS=5000 M4 M8
;
CYCLE62("KONTURA2", 0,,)
CYCLE952("KONTURA2", , "", 1101321, 0.12, 0, 0, 2.5, 0.1, 0.1, 0.5, 0.3, 0.1, 0, 1, 0, 0, , , , 2, 2, , 0, 1, , 0, 1,
G00 X200 Z200
M5 M9
;
MSG("Mazací drážka")
T="ZAPICHOVACÍ NŮŽ R2"
S5 LIMS=150
M3 M8
G00 X15 Z0
CYCLE99(-3.5, 12.25, -33.6, , 0.5, 1, 0.65, 0.05, 0, 0, 3, 1, 35, 1310101, 4, 2, 0.2, 0.5, 0, 0, 1, 0, 0, 1, , , , 100,
M5 M9
G00 X200 Z200
;
;
;
;
FRÉZOVÁNÍ DRÁŽKOVÁNÍ
;
MSG("Frézování drážkování")
T="KOTOUČOVÁ FRÉZA 2"
G94
F40 M3=3 S110
G00 X-4 Y35 Z-34
;
SPOS=0
CALL "DRAZKOVANI2.SPF"; #SM; *RO*
;
SPOS=60
CALL "DRAZKOVANI2.SPF"; #SM; *RO*
;
SPOS=120
CALL "DRAZKOVANI2.SPF"; #SM; *RO*
;
SPOS=180
CALL "DRAZKOVANI2.SPF"; #SM; *RO*
;
SPOS=240
CALL "DRAZKOVANI2.SPF"; #SM; *RO*
;
SPOS=300
CALL "DRAZKOVANI2.SPF"; #SM; *RO*
;
M5 M9
G00 X200 Z200 Y0
;

```

Příloha 4 (5/5)

```
MSG("PAUZA, čekání na obsluhu pro ukončení podepření hrotem")\nM0 ;zastavit program\n\n\n          VRTÁNÍ PRŮCHOZÍ DÍRY\n\nMSG("Vrtání otvoru průměr 5,5 do hloubky 40 mm")\nT="VRTÁK TK 6D"\nS110 LIMS=4700\nM3 M8\n\n\nG00 X0 Z2\nCYCLE83(2, 0, 1, , 40, , 15, 90, 0.6, 0.6, 50, 0, 0, 1.2, 1.4, 0.6, 1.6, 0, 1, 11211111)\nG00 X200 Z200\nM5 M9\n\n\nMSG("Vrtání otvoru průměr 5,5 skrz celou součást")\nT="VRTÁK TK 20D"\nS90 LIMS=4700\nM3 M8\n\n\nG00 X0 Z2\nCYCLE83(2, -38, 1, , 82, , 15, 90, 0.6, 0.6, 50, 0, 0, 1.2, 1.4, 0.6, 1.6, 10, 1, 11211111)\nG00 X200 Z200\nM5 M9\n\n\nMSG("KONEC PROGRAMU")\nM30\n\n
```